

УДК 332.142

DOI: 10.26140/anie-2019-0803-0019

**МОДЕЛЬНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

© 2019

**Бобин Дмитрий Витальевич**, старший преподаватель кафедры  
актуарной и финансовой математики**Никитин Виктор Васильевич**, кандидат физико-математических наук, доцент,  
профессор кафедры актуарной и финансовой математики*Чувашский государственный университет*

(428015, Россия, Чебоксары, Московский проспект, д. 15, e-mail: vvn22@yandex.ru)

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* В статье изложены результаты оценки энергоэффективности социально-экономических систем на основе различных математических методов и предложен алгоритм, позволяющий объединить достоинства альтернативных подходов. Актуальность исследования заключалась в необходимости разработки методологии комплексной оценки энергоэффективности по линейно не связанным между собой факторам, отражающим экономические, социальные и экологические характеристики функционирования социально-экономической системы, что позволяет адекватно измерить эффективность энергообмена в системе «производитель-потребитель». *Материалы и методы.* На практике для комплексной (интегральной) оценки объектов широко применяются методы многокритериальной оптимизации и принятия решений, среди которых можно отметить анализ иерархий (АНР) и сравнение с лучшим вариантом (TOPSIS), квалиметрический подход. Общим недостатком всех перечисленных методов является смещение комплексных оценок при тесных связях между показателями на одном уровне иерархии и аномальных значениях в рядах исходных данных. Некоторые авторы ставят под сомнение саму возможность построения сводных показателей и отдают предпочтение факторному или компонентному анализу данных (РСА). В статье предложена авторская методика комплексной оценки объектов, объединяющая достоинства указанных подходов с устранением их недостатков. Математическую основу анализа составляют методы очистки данных, квалиметрии, анализа иерархий и факторного анализа. *Результаты.* Уточнена социально-экономическая сущность энергоэффективности. На основе объединения многомерного статистического и системно-квалиметрического анализа разработана модель оценки социально-экономических систем, учитывающая их объективную многомерность, что определяет фундаментальность полученных результатов. Это способствовало решению еще одной проблемы – стандартизации главных компонент. *Выводы.* Предложенный алгоритм работает эффективно не только в условиях мультиколлинеарности факторов энергоэффективности, но и в условиях неоднородных и зашумленных данных, содержащих так называемые аномалии (выбросы) в социально-экономической статистике. Поэтому математическая база может стать основой для информационно-аналитических систем в области мониторинга, анализа, прогнозирования и планирования энергоэффективности регионов, муниципальных образований, предприятий.

**Ключевые слова:** социально-экономическая система, энергоэффективность, комплексная оценка, интегральная оценка, квалиметрический анализ, факторный анализ, иерархические системы, анализ иерархий.

**A COMPREHENSIVE MODEL TO EVALUATE OF ENERGY EFFICIENCY  
OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS**

© 2019

**Bobin Dmitriy Vitalyevich**, senior lecturer of insurance and financial  
mathematics department**Nikitin Viktor Vasilyevich**, candidate of physico-mathematical sciences, associate professor,  
professor of insurance and financial mathematics department*Chuvash State University*

(428015, Russia, Cheboksary, Moskovsky avenue, 15, e-mail: vvn22@yandex.ru)

**Abstract.** *Background.* The article presents the results of evaluating the energy efficiency of socio-economic systems on the basis of various mathematical methods and proposes an algorithm to combine the advantages of alternative approaches. The relevance of the study was the need to develop a methodology for integrated assessment of energy efficiency by linearly unrelated factors that reflect the economic, social and environmental characteristics of the socio-economic system, which allows to adequately measure the efficiency of energy exchange in the system “producer-consumer”. *Materials and methods.* In practice, methods of multi-criteria optimization and decision-making are widely used for complex (integral) evaluation of objects, among which we can note the analysis of hierarchies (АНР) and comparison with the best option (TOPSIS), qualimetric approach. A common disadvantage of all these methods is the displacement of complex estimates with close relationships between indicators at the same level of the hierarchy and anomalous values in the series of the original data. Some authors question the very possibility of building composite indicators and prefer factor or component-based data analysis (РСА). The article proposes the author’s method of complex evaluation of objects, combining the advantages of these approaches with the elimination of their shortcomings. The mathematical basis of the analysis is the methods of data cleaning, qualimetry, hierarchy analysis and factor analysis. *Results.* The socio-economic essence of energy efficiency is clarified. Based on the combination of multivariate statistical and system-qualimetric analysis, a model for assessing socio-economic systems, taking into account their objective multidimensionality, which determines the fundamental nature of the results. This helped to solve another problem – the standardization of the main components. *Conclusions.* The proposed algorithm works effectively not only in conditions of multicollinearity of energy efficiency factors, but also in conditions of heterogeneous and noisy data containing so-called anomalies (emissions) in socio-economic statistics. Therefore, the mathematical base can become the basis for information and analytical systems in the field of monitoring, analysis, forecasting and planning of energy efficiency of regions, municipalities, enterprises.

**Keywords:** socio-economic system, energy efficiency, integrated assessment, qualimetric analysis, factor analysis, hierarchical systems, hierarchy analysis.

*Введение*

Повышение энергоэффективности является одной из важнейших задач технологического развития многих государств. Политика устойчивого экономического

развития стран признает энергетическую, экономическую и экологическую аспекты энергоэффективности. Например, в 2013 США поставили цель повысить энергоэффективности в 2 раза в течение двадцати лет, а потери

энергии сократить в 2 раза. А ранее Германия поставила задачу удвоения энергоэффективности к 2020 году по сравнению с 1990 г. В России же в 2010 году была принята государственная программа «Энергосбережения и повышения энергетической эффективности до 2020 года», нацеленная на уменьшение показателя энергоемкости валового внутреннего продукта на 40% к уровню 2007 года, хотя в 2014 году цель была скорректирована до 9,4%.

В широком понимании под энергоэффективностью понимается отношение полученного эффекта от использования энергоресурсов на выходе к их затратам на входе. Однако конечный эффект от повышения эффективности энергопотребления выражается не только снижением энергоемкости и энергосбережением, но и в виде повышения качества жизни, а также снижения антропогенного воздействия на окружающую среду. Потому важно идентифицировать социально-экономическую сущность энергоэффективности, которая, на наш взгляд, заключается в эффективной добыче, распределении и потреблении энергоресурсов для решения экономических, социальных и экологических задач наилучшим образом, что можно выразить соответствующими блоками целевых показателей:

1) экономический блок – энергоемкость валового внутреннего продукта, электроемкость ВВП, энерговооруженность труда, коэффициент полезного действия оборудования и др.;

2) социальный блок – конечное потребление домашних хозяйств, освещенность улиц и дорог, среднее число бытовых электроприборов в семье, потребление различных видов энергии на душу населения и др.;

3) экологический блок – доля возобновляемых и альтернативных источников энергии в общем объеме производимой энергии, потеря энергии при передаче, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, загрязнение сточных вод и др.

#### Материал и методика

В мировой практике для комплексной оценки социально-экономических систем широкое применение получили методы многокритериальной оптимизации и принятия решений (MCDM), среди которых наиболее популярными являются метод сравнения с лучшим вариантом (TOPSIS) и метод анализа иерархий (АНР).

В статье [1] приведены результаты комплексной оценки энергоэффективности протоколов совместных беспроводных сетей на основе метода TOPSIS. В статье [2] изложена методология принятия решений по управлению энергоэффективностью зданий и приведено сравнение многокритериальных методов. В статье [3] проводится оценка перспективных источников энергии, в том числе возобновляемых, наиболее подходящих для островных территорий, на основе MCDM. В [4] представлена методика комплексной оценки состояния энергетических систем. В [5] продемонстрировано планирование энергосистем на основе АНР. Отечественная научная школа предложила квалиметрический метод [6], во многом схожий с указанными методами. Он предусматривает следующие этапы анализа: построение дерева свойств (иерархии уровней), стандартизация переменных, их взвешивание и сворачивание в интегральный показатель. Одним из слабых мест в методе анализа иерархий можно считать инверсию вариантов при добавлении или удалении какого-либо варианта. Общим недостатком всех указанных методов является смещенность комплексных оценок при статистически значимых связях между переменными на одном уровне иерархии и наличии аномальных значений в исходных данных.

Ряд авторов ставят под сомнение целесообразность построения сводных показателей и в качестве перспективного метода многомерных объектов отмечают факторный или компонентный анализ (PCA). Например, в [7] осуществлен переход от показателей социально-экономической системы к главной компоненте, объясняю-

щей большую долю вариации исходных показателей. В [8] проведен факторный анализ показателей энергопотребления предприятий.

Однако при построении интегрального показателя в виде обобщения главных компонент возникает проблема их стандартизации. Она заключается в том, что факторы, полученные путем линейной трансформации исходных нормализованных переменных, стремятся к стандартному нормальному распределению и являются безразмерными величинами, что создает ощущение их соизмеримости. К сравнению, в квалиметрии суть стандартизации состоит в получении соизмеримых друг с другом и сопоставимых с эталонными значениями показателей. Поскольку главные компоненты имеют иной смысл от исходных показателей, то по одним лишь значениям факторов не представляется возможным определить их эталонные значения. Авторами статьи предложено получение эталонных (браковочных) значений главных компонент с помощью эталонных (браковочных) значений исходных переменных. Для этого исходные эталоны необходимо нормализовать и преобразовать в факторные значения. Таким образом, на основе объединения многомерного статистического и системно-квалиметрического анализа разработана модель оценки энергоэффективности социально-экономических систем, алгоритм которой представлен на рисунке 1.

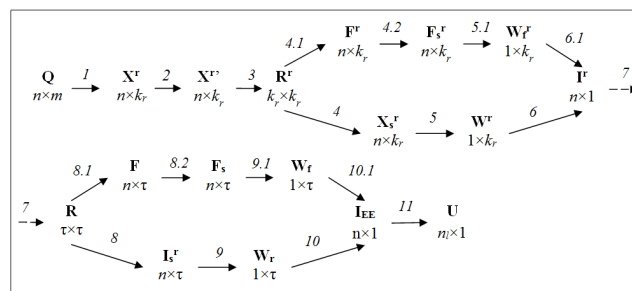


Рисунок 1 – Схема построения модели оценки энергоэффективности систем

Источник: составлено авторами на основе исследуемых материалов

Обозначения:  $Q = \{q_{ij}\}$ ,  $i = 1..n$ ,  $j = 1..m$  – исходная матрица данных о состоянии  $m$  параметров  $n$  объектов (систем);

$X^r$  – матрица состояния  $r$ -той подсистемы изучаемых объектов, количественно характеризующая состояние  $p$ -го параметра  $r$ -той подсистемы  $i$ -го объекта ( $r = 1..t$ ;  $p = 1..k_r$ );  $k_r$  – количество частных показателей, описывающих  $r$ -тую подсистему;

$X^{r'}$  – матрица данных с устойчивыми статистическими характеристиками;

$R^r$  – корреляционная матрица переменных  $r$ -той подсистемы;

$X_s^r$  – стандартизированная матрица  $r$ -той подсистемы изучаемых объектов;

$W^r$  – вектор весовых коэффициентов частных показателей  $r$ -той подсистемы;

$F^r$  – матрица значений главных компонент  $r$ -той подсистемы;

$F_s^r$  – стандартизованная матрица значений главных компонент  $r$ -той подсистемы;

$W_f^r$  – вектор весовых коэффициентов главных компонент  $r$ -той подсистемы;

$I_r$  – комплексные оценки состояния  $r$ -той подсистемы изучаемых объектов;

$R$  – корреляционная матрица комплексных переменных;

$I_s^r$  – стандартизированная матрица комплексных переменных;

$W_r$  – вектор весовых коэффициентов комплексных переменных;

$F$  – матрица значений главных компонент комплексных переменных;

$\mathbf{F}_s$  – стандартизованная матрица главных компонент комплексных переменных;

$\mathbf{W}_r$  – вектор весовых коэффициентов главных компонент системы;

$\mathbf{I}_{EE}$  – интегральные оценки энергоэффективности объектов;

$\mathbf{U}$  – кластеры энергоэффективности.

*Методические рекомендации по использованию алгоритма*

Начальный этап. Сбор данных.  $\mathbf{Q} = \{q_{ij}\}$ ,  $i = 1..n$ ,  $j = 1..m$  – исходная матрица данных о состоянии  $m$  параметров  $n$  объектов (систем). Параметрами выступают характеристики расходования или потребления энергоресурсов, экономические, социальные и экологические результаты функционирования систем. Сведения извлекаются из топливно-энергетических балансов объектов изучения, учетных систем или форм отчетности расходования и потребления энергоресурсов, статистических баз данных.

Шаг 1.  $\mathbf{X}^r$  – матрица состояния  $r$ -той подсистемы (блока) изучаемых объектов, количественно характеризующая состояние  $p$ -го параметра  $r$ -той подсистемы  $i$ -го объекта ( $r = 1..t$ ;  $p = 1..k_r$ );  $k_r$  – количество частных показателей, описывающих  $r$ -тую подсистему. Исходные данные  $q_{ij}$  часто представлены в абсолютном выражении и обычно не являются показателями качества процессов. Поэтому они преобразуются в относительные величины – показатели эффективности подсистем – и образуют иерархию или дерево свойств.

Шаг 2. Робастное статистическое оценивание.  $\mathbf{X}^r$  – матрица данных с устойчивыми статистическими характеристиками. Формируется по результатам распознавания шумов в изучаемой совокупности статистическими критериями Граббса, Титъена и Мура и проведения робастного оценивания данных методами Пуанкаре, Винзора или Хубера.

Шаг 3. Анализ связей между переменными в подсистемах. Оценивание мультиколлинеарности переменных по корреляционным матрицам подсистем  $\mathbf{R}^r$  с применением критерия хи-квадрат Уилкса.

При подтверждении гипотезы о мультиколлинеарности переменных в какой-либо подсистеме  $r$  осуществляется факторный анализ этих переменных по методу главных компонент и их обобщение: 4.1, 4.2, 5.1, 6.1. При опровержении гипотезы в качестве основного метода выступает квалиметрический анализ: 4, 5, 6.

Шаг 4. Стандартизация переменных. Показатели нижнего уровня иерархии – частные показатели  $X_p^r$  эффективности подсистем – в большинстве случаев распределены в разных числовых интервалах и имеют разные единицы измерения, а также направления улучшения  $c_p^r$ . Поэтому частные показатели необходимо стандартизировать в  $X_p^r$  с учетом направлений  $c_p^r$  и целей (эталонов)  $X^{r*}$ :

$$x_p^r = \begin{cases} \frac{x_p^r - x_{p,\min}^r}{x_{p,\max}^r - x_{p,\min}^r}, \tilde{n}_p = 1, \\ \frac{x_{p,\max}^r - x_p^r}{x_{p,\max}^r - x_{p,\min}^r}, \tilde{n}_p = -1, \end{cases} \quad (1)$$

где  $x_p^r$  – робастные значения  $p$ -го признака  $i$ -й системы;  $\mathbf{C}^r$  – вектор коэффициентов-признаков, показывающих направления улучшения  $p$ -го параметра  $r$ -той подсистемы ( $c_p^r$  равно +1 или -1, если численное значение  $p$ -го параметра  $r$ -той подсистемы необходимо соответственно повышать или понижать);  $x_{p,\max}^r$ ,  $x_{p,\min}^r$

– робастные максимальные и минимальные значения  $p$ -го признака, которые выступают в качестве целевых

значений для частных показателей  $r$ -той подсистемы.

Шаг 5. Взвешивание критериев. Веса частных показателей в подсистемах, а также веса самих подсистем, определяются экспертным методом. Для более точной оценки объекты сравниваются попарно и составляются матрицы предпочтений  $\mathbf{A} = \{a_{ij}\}$  экспертов, которые преобразуются в веса по следующей схеме:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

В квадратной матрице  $\mathbf{A}$  элемент  $a_{ij}$  показывает степень превосходства  $i$ -го объекта над  $j$ -м по шкале Саати [9] от 1 до 9: 1 – равноценность, 3 – незначительное предпочтение, 5 – значительное, 7 – явное и 9 – абсолютное превосходство. Требование согласованности к оценкам:  $a_{ij} = 1 / a_{ji}$ . Вектор  $\mathbf{B} = \{b_i\}$  – промежуточный,  $b_i$  – сумма или средняя степеней предпочтения  $i$ -го объекта по отношению ко всем остальным. Веса  $w_i$  выводятся из оценок  $b_i$  нормировкой, т.е. делением на общую сумму оценок  $b_i$ .

Шаг 6. Комплексирование стандартизованных показателей подсистем. Стандартизированные значения показателей обобщаются в комплексные оценки подсистем  $I_r$  в аддитивной форме

$$I^r = \sum_{p=1}^{k_r} w_p^r x_p^r \quad (3)$$

или мультипликативной форме

$$I^r = \prod_{p=1}^{k_r} (x_p^r)^{w_p^r} \quad (4)$$

Шаг 4.1. Факторный анализ по каждому блоку частных показателей методом главных компонент

$$(X_1^{(r)}, \dots, X_{k_r}^{(r)}) \rightarrow F^{(r)}, \quad (5)$$

$\mathbf{X}^r$  – матрица частных показателей  $r$ -ой подсистемы;  
 $\mathbf{F}^r$  – матрица значений главных компонент  $r$ -ой подсистемы.

Шаг 4.2. Стандартизация векторов значений главных компонент. Для того чтобы факторы  $F_p^r$  были соизмеримы, они стандартизируются по формуле

$$F_p^r = \frac{f_p^r - f_{p,\bar{\Phi}}^r}{f_{p,\bar{\Phi}}^r - f_{p,\Phi}^r}, \quad (6)$$

где  $f_{p,\bar{\Phi}}^r$  – эталонное значение  $p$ -го фактора  $r$ -й подсистемы,  $f_{p,\Phi}^r$  – браковочное значение  $p$ -го фактора  $r$ -й подсистемы.

Эталонные и браковочные значения главных компонент можно получить с помощью эталонных значений исходных переменных  $r$ -й подсистемы, например,  $x_{p,\max}^r$ ,  $x_{p,\min}^r$ , которые нужно стандартизировать по формуле

$$S_p^r = \frac{I_p^r - \bar{I}_p^r}{\sigma\{I_p^r\}} \quad (7)$$



где  $I_p^r$  – комплексная оценка  $r$ -й подсистемы  $i$ -го субъекта,  $\bar{I}_p^r$  – среднее значение  $r$ -й подсистемы,  $\sigma\{I_p^r\}$  – стандартное отклонение  $p$ -й переменной  $r$ -й

подсистемы и преобразовать в факторные значения по коэффициентам факторов, полученным с помощью матрицы факторных нагрузок.

Шаг 5.1. Определение весовых коэффициентов главных компонент  $W_f^{(r)}$  экспертным или аналитическим способом. Второй заключается в определении весов как отношения долей объясненной ими дисперсии исходных показателей к сумме этих долей

$$W_p^r = \frac{\lambda_p^r}{\sum \lambda_p^r}, \quad (8)$$

где  $\lambda_p^r$  – собственное число  $p$ -й главной компоненты  $r$ -й подсистемы.

Шаг 6.1. Комплексирование стандартизированных главных компонент с весовыми коэффициентами подсистем:

$$I^r = f(w_f^r; F^{(r)}) = \sum_{r=1}^{\tau} w_f^r F^{(r)}. \quad (9)$$

Шаг 7. Анализ связей между подсистемами. Оценивание мультиколлинеарности комплексных переменных  $I^r$  по корреляционной матрице системы  $R$ . При подтверждении гипотезы о значимости корреляционной матрицы осуществляется факторный анализ комплексных переменных методом главных компонент и их обобщение: 8.1, 8.2, 9.1, 10.1, а при опровержении гипотезы – 8, 9, 10.

Шаг 8. Стандартизация комплексных переменных. Данную процедуру следует использовать при значимой обратной связи комплексных переменных между собой, что означает практическую недостижимость улучшения одновременно по ним.

Шаг 9. Взвешивание комплексных переменных. Веса комплексных переменных, как и веса стандартизованных переменных, определяются методом попарных сравнений.

Шаг 10. Обобщение комплексных переменных. Стандартизированные значения комплексных переменных обобщаются в интегральные оценки систем  $I_r$  в аддитивной форме

$$I_E = \sum_{r=1}^{\tau} w_r I_r. \quad (10)$$

или мультипликативной форме

$$I_E = \prod_{r=1}^{\tau} (I_r)^{w_r}. \quad (11)$$

Шаг 8.1. Факторный анализ комплексных переменных методом главных компонент

$$(I_1, \dots, I_{\tau}) \rightarrow F, \quad (12)$$

$F$  – матрица значений главных компонент комплексных переменных.

Шаг 8.2. Стандартизация векторов значений главных компонент  $F^{(r)} \rightarrow \bar{F}^{(r)}$ . Для того, чтобы факторы  $F^r$

были соизмеримы, они стандартизируются по формуле

$$F^r = \frac{f_{r\cdot} - f_{r\cdot\bar{f}}}{f_{r\cdot\bar{f}} - f_{r\cdot\bar{f}}}, \quad (13)$$

где  $f_{r\cdot\bar{f}}$  – эталонное значение  $r$ -го фактора,  $f_{r\cdot\bar{f}}$

– браковочное значение  $r$ -го фактора.

Эталонные или браковочные значения главных компонент можно получить стандартизацией эталонных значений комплексных оценок ( $F_{\text{эт}} = 1, F_{\text{бр}} = 0$ ):

$$S_r = \frac{I_r - \bar{I}_r}{\sigma\{I_r\}}, \quad (14)$$

где  $I_r$  – комплексная оценка  $r$ -й подсистемы  $i$ -го субъекта,  $\bar{I}_r$  – среднее значение  $r$ -й подсистемы,

$\sigma\{I_r\}$  – стандартное отклонение  $r$ -й подсистемы и

преобразовать в факторные значения по коэффициентам факторов, полученным с помощью матрицы факторных нагрузок.

Шаг 9.1. Определение весовых коэффициентов главных компонент. Веса выделенных факторов  $W_f$  определяются как отношения долей объясненной ими дисперсии комплексных показателей к сумме этих долей

$$W_r = \frac{\lambda_r}{\sum \lambda_r}, \quad (15)$$

где  $\lambda_r$  – собственное значение  $r$ -й главной компоненты.

Шаг 10.1. Интегральная оценка главных компонент в аддитивной форме

$$I_E = f(W; F) = \sum_{r=1}^{\tau} W_r F_r. \quad (16)$$

Шаг 11. Формирование кластеров энергоэффективности по интегральным или комплексным оценкам систем.

Данная модель имеет следующие особенности:

1. Исходное множество показателей, всесторонне характеризующих систему, разбивается на несколько входящих потоков (модель с построением иерархии показателей или дерева свойств).

2. Включение эталона – условного объекта, обладающего наилучшими характеристиками среди изучаемых социально-экономических систем.

3. Стандартизация (нормировка) входящего потока данных, которая позволяет устранить неоднородность объектов системы и привести различные переменные или свойства к сопоставимому виду.

4. Взвешивание переменных или свойств по коэффициентам значимости (важности), которые определяются стратегией повышения энергоэффективности или экспертным путем.

5. Учетывание эмпирических законов распределения параметров системы в соответствии с их социально-экономической природой (нормализация переменных и робастность оценок).

6. Агрегирование оценок качества отдельных свойств системы в комплексные показатели качества в аддитивной или мультипликативной форме.

Закключение

Апробация полученной модели проводилась на

примере регионов РФ [10]. По численным расчетам установлено, что важным условием успешной стандартизации главных компонент является их вращение в пространстве факторов методом варимакс. При этом характер связей главных компонент с исходными показателями позволяет определить полярность факторов. Решение проблем стандартизации главных компонент и комплексной оценки объектов по линейно не связанным между собой факторам обуславливает фундаментальность исследования.

Приведенная математическая база может лечь в основу информационно-аналитических систем (ИАС) в области мониторинга, анализа, планирования и прогнозирования энергоэффективности предприятий, муниципальных образований, регионов. ИАС играют важную роль в менеджменте современных крупных объектов – регионов, территорий, предприятий, – где осуществляется непрерывный сбор больших массивов данных и их обработка. Запросы к таким системам не ограничиваются учетом расходов энергии. Поскольку ИАС позволяют мониторить, анализировать и прогнозировать текущие процессы, обеспечивая надежность и оперативность действий, то они будут способствовать повышению энергоэффективности социально-экономических систем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Li J., Zhou J., Zhang Y. *Comprehensive Evaluation of Energy Efficiency Based on TOPSIS for Protocols of Collaborative Wireless Sensor Networks* / J. Li, J. Zhou, Y. Zhang // *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2014. Vol. 2015. pp. 1-13.
2. Kolokotsa D., Diakaki C., Grigoroudis E., Stavrakakis G., Kalaitzakis K. *Decision support methodologies on the energy efficiency and energy management in buildings* / D. Kolokotsa, C. Diakaki, E. Grigoroudis, G. Stavrakakis, K. Kalaitzakis // *Advances in building energy research*. 2009. Vol. 3. pp. 121-146.
3. Wimmeler C., Hejazi G., Fernandes E., Moreira C., Connors S. *Multi-Criteria Decision Support Methods for Renewable Energy Systems on Islands* / C. Wimmeler, G. Hejazi, E. Fernandes, C. Moreira, S. Connors // *Journal of Clean Energy Technologies*. 2015. Vol. 3, № 3. pp. 185-195.
4. Frangopoulos C., Keramioti D. *Multi-Criteria Evaluation of Energy Systems with Sustainability Considerations* / C. Frangopoulos, D. Keramioti // *Entropy*. 2010. Vol. 12. pp. 1006-1020.
5. Leite F., Cicone D., Galvão L., Udaeta M. *Energy-Efficiency Economics as a Resource for Energy Planning* / F. Leite, D. Cicone, L. Galvão, M. Udaeta // *Open Journal of Energy Efficiency*. 2013. Vol. 2. pp. 22-28.
6. Azgaldov G. G., Kostin A. V., Padilla Omiste, A. E. *The ABC of Qualimetry: The Toolkit for measuring immeasurable* / G. G. Azgaldov, A. V. Kostin, A. E. Padilla Omiste; interpreter E. Azgaldov. M.: Ridero, 2015. 167 p.
7. Nasierowski W. *Composite Indexes Economic and Social Performance: Do they Provide Valuable Information?* / W. Nasierowski // *Foundations of Management*. 2016. Vol. 8. pp. 167-174.
8. Tsoa G., Liua F., Liu K. *The influence factor analysis of comprehensive energy consumption in manufacturing enterprises* / G. Tsoa, F. Liua, K. Liu // *Procedia Computer Science*. 2013. Vol. 17. pp. 752-758.
9. Саати Т. Л. *Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети* / Т. Л. Саати // М.: Ленанд. 2016. 360 с.
10. Бобин Д. В. *Оценка энергоэффективности социо-эколого-экономических систем регионов* / Д. В. Бобин // *Общество: политика, экономика, право*. 2017. №12. С. 66-69.

**Статья публикуется при финансовой поддержке РФФИ и Чувашской Республики в рамках научного проекта №19-410-210007р\_а «Моделирование интегрального показателя в исследовании социально-экономических систем и процессов».**

Статья поступила в редакцию 18.07.2019

Статья принята к публикации 27.08.2019