

Галина РУДЧЕНКО

*Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь,
e-mail: karpina@tut.by*

УДК 338.439:658.26

<https://doi.org/10.29235/1818-9806-2025-8-21-38>

Интегральная оценка уровня энергоэффективности производства продовольствия на основании применения многокритериального композитного индекса

Представлена авторская методика оценки уровня энергоэффективности производства продовольствия с использованием композитного индекса. В основе предложенного механизма – систематизированный анализ существующих подходов. Это позволило выделить главные домены формирования уровня энергоэффективности, определить для них ключевые критерии и когерентные им оценочные показатели. Установлены способы детализации и представления результатов оценки, включая интегральные и графические формы, обеспечивающие комплексную визуализацию и количественную оценку, что усиливает возможности диагностики и управления топливно-энергетическими ресурсами. Разработанный методический подход дает возможность всесторонней оценки энергоэффективности производства продовольствия, способствует выявлению резервов повышения и оптимизации энергопотребления в агропродовольственном секторе экономики.

Ключевые слова: энергоэффективность производства продовольствия, интегральная оценка уровня энергоэффективности, критерии оценки уровня энергоэффективности, композитный индекс энергоэффективности производства продовольствия.

Halina RUDCHANKA

*Institute of System Researches in the Agroindustrial Complex
of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus,
e-mail: karpina@tut.by*

Integrated assessment of the energy efficiency level of food production based on the use of a multi-criteria composite index

The article presents the author's methodology for assessing the level of energy efficiency in food production using a composite index. The proposed mechanism is based on a systematized analysis of existing approaches. This made it possible to identify the main domains of energy efficiency formation, determine key criteria for them and coherent assessment indicators. Methods for detailing and presenting the assessment results are established, including integral and graphical forms that provide comprehensive visualization and quantitative assessment, which enhances the diagnostics and management of fuel and energy resources. The developed methodological approach enables a comprehensive assessment

of the energy efficiency of food production, helps to identify reserves for increasing and optimizing energy consumption in the agro-food sector of the economy.

Keywords: energy efficiency of food production, integrated assessment of the level of energy efficiency, criteria for assessing the level of energy efficiency, composite index of energy efficiency of food production.

Введение

Изучение зарубежных и отечественных исследований, а также практики анализа энергоэффективности производства продукции, в том числе продовольственной, показало наличие обширного спектра разрозненных методических подходов и показателей, не обеспечивающих на данный момент комплексную и адаптированную к специфике продовольственного производства оценку. Отсутствие единого инструментария решения указанной задачи обуславливает необходимость научного поиска оценочного показателя, позволяющего устранить имеющийся пробел и обеспечить более точный мониторинг и анализ энергоэффективности как на уровне отдельных звеньев продовольственной цепи, так и в национальной агропродовольственной системе в целом.

Материалы и методы

Теоретической и методологической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых, посвященные вопросам построения методик интегральных индексов и их прикладного использования. Применены общие (анализ, синтез, сравнение, абстрагирование) и специальные (статистико-экономические) методы.

Основная часть

Современные подходы к формированию комплексных метрик сложных социально-экономических систем ориентированы преимущественно на разработку композитных индексов, обеспечивающих всестороннюю оценку и анализ исследуемого объекта с учетом влияния множества разнообразных факторов. Распространенность интегральных индексов обусловлена рядом причин: *во-первых*, они предоставляют возможность синтеза количественных и качественных параметров в единый измеритель; *во-вторых*, агрегирование отдельных показателей в обобщающий индекс способствует проведению компаративного анализа разноуровневых систем как в статическом, так и в динамическом разрезе; *в-третьих*, использование интегральных индексов обеспечивает формирование универсальной методологии измерения явлений различной природы.

В настоящее время уже есть значительный теоретико-методологический задел для применения интегральных индексов, ориентированных на конкретные цели и задачи аналитических исследований. При этом практика их использования активно развивается, охватывая все больший круг предметных областей.

Построение интегральных индексов находит широкое применение в качестве инструментария комплексной оценки мультикомпонентных систем для следующих целей:

определение уровня социально-экономического развития: индекс экономического развития [1], индекс социального и экономического прогресса [2], индекс экономического благополучия [3], индекс развития инфраструктуры [4], индекс человеческого развития [5], интегральный индекс качества жизни [6], индекс лучшей жизни [7], индекс счастья [8], индекс удовлетворенности жизнью [9] и др.;

диагностика состояния предпринимательской среды и деловой активности: индекс ведения бизнеса [10], индекс экономической свободы [11], индекс развития предпринимательства [12], индекс развития малого бизнеса [13], индекс конкурентоспособности [14, 15] и др.;

исследование эффективности и устойчивости развития: индекс целей устойчивого развития [16], индекс устойчивого развития регионов [17], индекс устойчивого экономического благосостояния [18], индекс устойчивости городов [19], индекс устойчивого развития сельских территорий [20, 21], индекс энергетической устойчивости (трилеммы) [22], коэффициент эффективности функционирования интегральных структур в АПК [23], индекс эффективности и устойчивости развития мировых энергетических компаний [24] и пр.;

изучение безопасности функционирования: индекс международной безопасности [25], индекс национальной безопасности [26], комплексный показатель уровня социально-экономической безопасности государства [27], индекс экономической безопасности [28], индекс кибербезопасности [29], индекс энергетической безопасности [30], глобальный индекс продовольственной безопасности [31] и пр.;

анализ инновационной динамики: индекс цифрового развития (эволюции) [32], индекс сетевой готовности [33], индекс инновационного развития [34], мировой индекс инноваций [35] и др.

Таким образом, разработка научно-методического аппарата для интегральной оценки энергоэффективности производства продовольствия является актуальной задачей. Наличие формализованной методики, основанной на доступной информационной базе, позволяет комплексно учитывать многоаспектность данного явления, получать объективные показатели эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), а также проводить сравнительный анализ субъектов хозяйствования и различных звеньев продовольственной цепи во времени и пространстве. Кроме того, такая методика способствует определению целевых параметров потребления ТЭР в национальной агропродовольственной системе и созданию условий для ее оптимального развития.

Энергоэффективность производства продовольствия представляет собой комплексное явление, требующее изучения в нескольких аспектах. В данной связи нами предложен подход к оценке энергоэффективности производства продовольствия, основанный на применении композитного показателя – инте-

грального SRBP-индекса, характеризующего состояние следующих ключевых доменов:

1) *энергосбережение («S»)* – отражает степень рационального и экономного использования ТЭР без ущерба для объема и качества производимой сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия;

2) *энергорезультативность («R»)* – характеризует качество использования энергии и ее вклад в повышение общей эффективности производства;

3) *энергосбалансированность («B»)* – оценивает соответствие структуры потребления различных видов энергоресурсов оптимальным технологическим и экономическим условиям, а также степень интеграции возобновляемых источников энергии и вторичных энергоресурсов в производственный цикл;

4) *энергопрогрессивность («P»)* – показывает уровень внедрения современных, инновационных, ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий, способствующих повышению энергоэффективности и устойчивому развитию производства.

Построение композитного индекса энергоэффективности производства продовольствия осуществляется в соответствии с процедурой, которая представлена нами в виде интеллект-карты, позволившей визуализировать и структурировать этапы алгоритма оценки в виде разветвленной схемы (рис. 1).

Первый этап заключается в идентификации целей исследования, соответствующих рассматриваемому объекту производственной цепи (сельское хозяйство, переработка, агропродовольственная система в целом), а также в выборе критериев и оценочных показателей с учетом достаточности объема доступной информации. Поскольку задача оценки и анализа уровня энергоэффективности производства продовольствия является многокритериальной, в зависимости от специфики указанной области нами был выработан следующий их перечень:

экономичность – использование минимально необходимого объема энергетических ресурсов (выраженного как в физических единицах (т у. т., кВт · ч, Гкал, Дж и др.), так и в стоимостном эквиваленте), который обеспечивает устойчивый рост конечных результатов в производстве продовольствия;

рациональность – применение ТЭР, базирующееся на строгом соблюдении установленных норм и стандартов, направленное на предотвращение необоснованных потерь и избыточного расхода, с приоритетным применением наиболее целесообразных видов ресурсов и технологий, обеспечивающее бережное использование природно-ресурсного потенциала в долгосрочной перспективе;

выгодность – максимизация конечных результатов деятельности агропродовольственной системы на единицу израсходованных ТЭР;

производительность – объем выпуска продовольствия на единицу эквивалента затраченных ТЭР;

оптимальность состава ресурсов – степень сбалансированности структуры используемых ТЭР с учетом агроэкологических, технологических и экономических

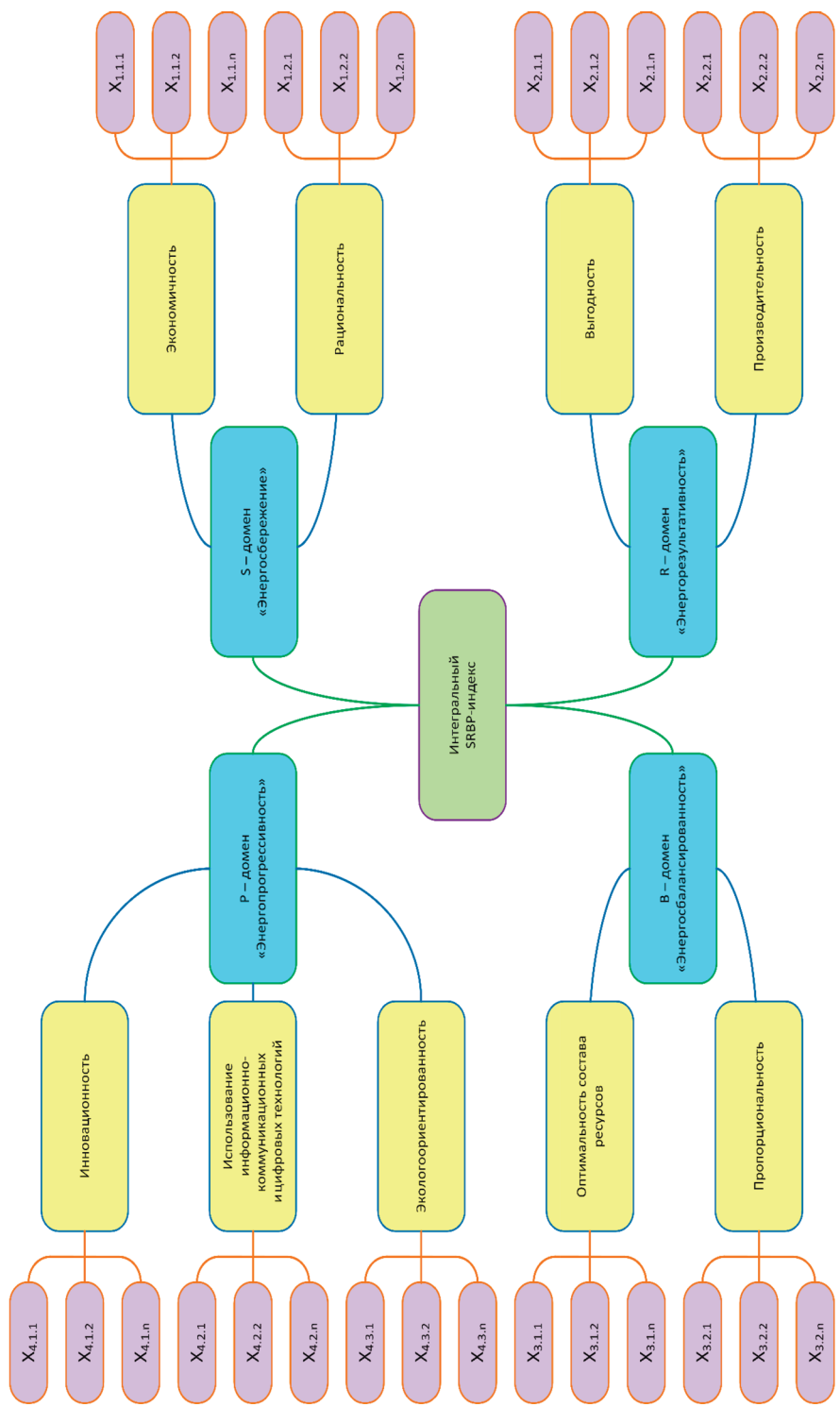


Рис. 1. Интеллект-карта формирования интегрального SRBP-индекса энергоэффективности производства продовольствия (через x обозначены показатели, относящиеся к соответствующему критерию) (выполнен по результатам собственных исследований)

особенностей производства и доступности различных видов энергоносителей (возобновляемых источников, местных видов топлива);

пропорциональность – соблюдение научно обоснованных пропорций использования ТЭР с целью обеспечения симметричного развития всех звеньев системы производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продуктов питания;

инновационность – интенсивность технологического развития и степень внедрения научно-технических достижений энергоэффективного производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продуктов питания (высокотехнологичная агропродовольственная продукция, альтернативные продукты питания и др.), позволяющих адаптироваться к НТП и интегрировать инновационные подходы для оптимизации использования энергетических ресурсов с целью повышения устойчивости агропродовольственных систем;

использование информационно-коммуникационных и цифровых технологий – внедрение современных информационно-коммуникационных (интернет, локальные вычислительные сети, облачные сервисы, экстранет, интранет и др.) и цифровых решений (интернет вещей, искусственный интеллект, большие данные, технологии радиочастотной идентификации, цифровые двойники и др.) для мониторинга, управления и оптимизации процессов энергопотребления на всех этапах агропродовольственной цепи;

экологоориентированность – снижение экологической нагрузки на окружающую среду при использовании ТЭР при производстве продовольствия и поддержание долгосрочной экологической безопасности при сохранении устойчивости развития агропродовольственных систем.

Количественная оценка интегрального SRBP-индекса энергоэффективности производства продовольствия может быть проведена с помощью измерительной системы, оценочные показатели которой классифицированы нами в разрезе предложенных доменов и сгруппированы в соответствии с выработанными критериями энергоэффективности (табл. 1). При выборе базовых показателей учитывались условия:

релевантность оценочных параметров применительно к специфике анализируемой области;

достаточная глубина и полнота описания исследуемого процесса;

информационная доступность, которая обеспечивается посредством учета, налаженного Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь, а также возможность использования данных организаций агропродовольственной системы для вычислений.

Перечень предложенных в табл. 1 показателей в зависимости от целей оценки и наличия исходных данных может быть пересмотрен и расширен за счет введения дополнительных областей, критериев и параметров. В соответствии с приведенным набором характеристик для каждого звена производственной цепи (сельское хозяйство, переработка, агропродовольственная система в целом) может быть выполнена группировка показателей, учитывающая ее границы и специфику.

Т а б л и ц а 1. Перечень доменов, критериев и показателей оценки уровня энергоэффективности производства продовольствия

Критерий	Показатели оценки
<i>S-домен «Энергосбережение»</i>	
1.1. Экономичность	1.1.1. Энергоемкость продукции, кг у. т/бел. руб. 1.1.2. Удельный расход ТЭР на единицу продукции (работ, услуг), кг у. т/ед. 1.1.3. Топливоемкость продукции, кг у. т/ед. 1.1.4. Электроемкость продукции, кВт·ч/ед. 1.1.5. Теплосъемкость продукции, Гкал/ед. 1.1.6. Удельный расход ТЭР на 1 га пашни (сельхозземель), кг у. т/га. 1.1.7. Доля энергетической составляющей в себестоимости продукции (общих затратах), %
1.2. Рациональность	1.2.1. Экономия ТЭР, т у. т. 1.2.2. Целевые показатели энергосбережения, %. 1.2.3. Целевые показатели по экономии светлых нефтепродуктов (бензина, дизельного и биодизельного топлива), %
<i>R-домен «Энергорезультативность»</i>	
2.1. Выгодность	2.1.1. Прибыль на 1 руб. затраченных энергетических ресурсов, бел. руб. 2.1.2. Выручка на 1 руб. затраченных энергетических ресурсов, бел. руб. 2.1.3. Объем произведенной продукции, оцененной по себестоимости, на 1 руб. затраченных энергетических ресурсов, бел. руб. 2.1.4. Прибыль в расчете на 1 кг условного топлива, бел. руб/кг у. т.
2.2. Производительность	2.2.1. Объем произведенной продукции в стоимостном выражении в расчете на 1 кг условного топлива, бел. руб/кг у. т. 2.2.2. Объем произведенной продукции в условно-натуральном выражении в расчете на 1 кг условного топлива, ед/кг у. т.
<i>B-домен «Энергосбалансированность»</i>	
3.1. Оптимальность состава ресурсов	3.1.1. Отношение стоимости ТЭР импортного производства к стоимости потребленных, %. 3.1.2. Доля доминирующего вида топлива в валовом потреблении ТЭР, %. 3.1.3. Доля местных видов топлива в валовом потреблении ТЭР, %. 3.1.4. Доля возобновляемых источников энергии в валовом потреблении ТЭР, %. 3.1.5. Доля вторичных энергетических ресурсов в валовом потреблении ТЭР, %
3.2. Пропорциональность	3.2.1. Коэффициент опережения индекса роста энергоэффективности и индекса роста выручки, о. е.* 3.2.2. Коэффициент опережения индекса роста энергоэффективности и индекса роста валовой продукции, о. е.* 3.2.3. Коэффициент опережения индекса роста энергоэффективности и индекса роста окупаемости затрат (соблюдение рациональности пропорций использования ресурсов), о. е.*
<i>P-домен «Энергопрогрессивность»</i>	
4.1. Инновационность	4.1.1. Доля высокотехнологичной и наукоемкой агропродовольственной продукции, снижающей энергопотребление, в общем выпуске, %.

Критерий	Показатели оценки
	4.1.2. Доля новых для рынка и новых для организаций инновационных продуктов с применением энергоэффективных технологий в общем выпуске, %. 4.1.3. Затраты на инновации в сфере энергопотребления на 1 руб. произведенной продукции, бел. руб.
4.2. Использование информационно-коммуникационных и цифровых технологий	4.2.1. Доля производственных процессов, поддерживаемых цифровыми технологиями в сфере энергопотребления, %. 4.2.2. Доля процессов, поддерживаемых цифровыми технологиями в сфере продажи (закупки) ТЭР, %. 4.2.3. Экономия ТЭР в расчете на 1 руб. затрат на внедрение и использование цифровых технологий в сфере энергопотребления, т у. т/ бел. руб.
4.3. Экологоориентированность	4.3.1. Удельная величина выбросов загрязняющих веществ, приходящаяся на единицу потребленных ТЭР, т/т у. т. 4.3.2. Удельная величина экологических платежей, приходящаяся на единицу потребленных ТЭР, бел. руб/т у. т. 4.3.3. Отношение объема использованных отходов производства на энергетические цели к общему объему образовавшихся отходов, %. 4.3.4. Доля механических транспортных средств высоких экологических классов (4 и выше) в общем парке, %. 4.3.5. Доля механических транспортных средств с электродвигателем в общем парке, %

* относительная единица

Примечания:

1. Показатели по критериям 4.1. и 4.2. предложены нами в условиях освоения инновационных и интеллектуальных технологий.
2. Составлена по результатам собственных исследований.

На *втором этапе* выполняется нормализация, т. е. преобразование отобранных показателей, имеющих различные единицы измерения и шкалы масштабирования, в общую сопоставимую шкалу в целях исключения непропорционального влияния показателей с большим числовым диапазоном, корректного агрегирования в интегральные индексы и точного представления составных показателей.

Для целей нормирования нами был применен метод робастной нормализации – приведение данных в сопоставимый вид, нивелирующий влияние значительных отклонений и аномальных значений.

Формулы для расчета нормализованных значений показателей приведены в табл. 2. Общий интегральный индекс энергоэффективности производства продовольствия определяется по мультипликативной модели, в этой связи учитывалось условие неотрицательности показателей после проведения нормализации.

Т а б л и ц а 2. Условия и порядок расчета показателей с применением робастной нормализации

Условия	Расчетные формулы и пояснения к ним
Условие 1: $\Delta x \geq 0 \Rightarrow$ улучшение	1 а. Применение к значениям показателей робастной нормализации: $x_{\text{норм}} = \frac{x_i - Me(\{x_i\})}{IQR(\{x_i\})},$ где $x_{\text{норм}}$ – нормализованное значение показателя; x_i – исходное значение показателя; $Me(\{x_i\})$ – медиана набора значений показателя x_i ; $IQR(\{x_i\})$ – межквартильный размах (разность между 75 и 25 % квантилями)
Условие 2: $\Delta x < 0 \Rightarrow$ улучшение	2 а. Применение к значениям показателей робастной нормализации с инверсией: $x_{\text{норм}} = -\frac{x_i - Me(\{x_i\})}{IQR(\{x_i\})}.$ 2 б. Приведение полученных отрицательных значений показателей к положительному диапазону при помощи преобразования с постоянным сдвигом: $x_{\text{норм}}^* = x_{\text{норм}} + \left \min(x_{\text{норм}}) \right + \varepsilon,$ где $x_{\text{норм}}^*$ – нормализованное значение показателя, приведенное к положительному диапазону; $\min(x_{\text{норм}})$ – минимальное значение среди всех нормализованных значений массива $x_{\text{норм}}$; ε – небольшое положительное число для исключения нулевых значений (10^{-6} или 10^{-8})

П р и м е ч а н и е. Составлена по результатам собственных исследований.

На *третьем этапе* выполняется определение частных индексов каждого домена по вложенным критериям, интегрирующих нормализованные первичные показатели. Для вычисления применяется формула средней геометрической для каждого критерия по его показателям:

$$I_{\text{крит}} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n (x_i + \varepsilon)},$$

где $I_{\text{крит}}$ – индекс соответствующего критерия; x_i – i -е значение показателя внутри критерия; n – количество значений; ε – малая константа для исключения нулевых значений (10^{-6} или 10^{-8}).

В рамках *четвертого этапа* рассчитываются обобщающие индексы для каждого домена на основе полученных значений средней геометрической по критериям с использованием следующей формулы:

$$I_{\text{домен}} = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m (I_{\text{крит } j} + \varepsilon)},$$

где $I_{\text{домен}}$ – обобщающий индекс соответствующего домена; $I_{\text{крит } j}$ – среднее геометрическое по критерию j ; m – количество критериев в домене.

На *пятом этапе* определяется интегральный SRBP-индекс энергоэффективности производства продовольствия. Вершиной системы показателей оценки уровня энергоэффективности производства продовольствия является агрегированный индекс энергоэффективности. Он рассчитывается на основе элементарных индексов, включающих показатели по доменам «Энергосбережение», «Энергорезультативность», «Энергосбалансированность» и «Энергопрогрессивность». Данный общий индекс отражает положение исследуемого объекта в общем рейтинге элементов рассматриваемого звена производственной цепи, обеспечивает возможность мониторинга его динамики во временном разрезе, анализа структурных трансформаций, а также служит инструментом для определения приоритетных направлений отраслевой политики энергоэффективности.

Общий агрегированный показатель рассчитывается как среднее геометрическое четырех доменных субиндексов по следующей формуле:

$$I_{SRBP} = \sqrt[l]{\prod_{k=1}^l (I_{\text{Домен}_k} + \varepsilon)},$$

где I_{SRBP} – интегральный индекс энергоэффективности производства продовольствия; $I_{\text{Домен}_k}$ – среднее геометрическое по домену k ; l – количество доменов в индексе.

На *шестом этапе* с целью анализа и интерпретации результатов расчета:

выбирается оптимальный уровень детализации и наиболее информативные форматы представления полученных результатов, включая табличные формы и графические методы визуализации (построение многоугольников энергоэффективности и диаграмм);

интерпретируются полученные результаты с целью выявления ключевых закономерностей и факторов, влияющих на исследуемые показатели;

вырабатываются рекомендации по проведению корректирующих мер, направленных на повышение эффективности и устойчивости функционирования агропродовольственных систем.

Для детализации и представления результатов анализа, определения уровня энергоэффективности производства продовольствия могут быть применены статистические (интегральные индексы) и графические (построение многоугольников энергоэффективности и диаграмм доменов в сочетании с интегральным SRBP-индексом) методы. Их комбинация обеспечивает комплексную визуализацию и количественную оценку, что значительно усиливает диагностику и управление ТЭР за счет:

кооперации схематичности и аналитической строгости;

наглядного выявления области отставания или превосходства по конкретным показателям энергоэффективности;

возможности использования единых метрик (площади многоугольника, агрегированного индекса) для количественной оценки и сравнения значений параметров исследуемых объектов.

Интегральный анализ позволяет оценить общий уровень энергоэффективности по агропродовольственной системе в целом и по звеньям производственной цепи (сельское хозяйство, переработка). Экономическая интерпретация исследуемых показателей реализуется посредством специально разработанной аналитической матрицы (табл. 3), применение которой дает возможность выявить характер, темпы развития и динамику ключевых параметров исследуемой подсистемы, а также определить оптимальные направления корректирующих мер, congruentные текущим условиям.

Т а б л и ц а 3. Матрица интегрального анализа энергоэффективности производства продовольствия

Уровень энергоэффективности производства продовольствия	Количественное значение интегрального индекса	Экономическая интерпретация	Направления корректирующих мер
А – очень высокий	$I_{SRBP} \geq 1,0$ при $(I_S \geq 1,0) \wedge (I_R \geq 1,0) \wedge (I_B \geq 1,0) \wedge (I_P \geq 1,0)$	Достижение или превышение установленных нормативов по всем элементам индекса. Планомерное прогрессивное развитие агропродовольственной системы и компонентов ее энергообеспечения	Ключевыми аспектами являются сохранение достигнутого уровня и дальнейшее повышение показателей индекса энергоэффективности. Корректирующие меры ориентированы на устранение незначительных негативных факторов
В – высокий	$I_{SRBP} \geq 1,0$ при $(I_S < 1,0) \vee (I_R < 1,0) \vee (I_B < 1,0) \vee (I_P < 1,0)$	Опережение или приближение к нормативным показателям по каким-либо из компонентов индекса за счет стабильного функционирования агропродовольственного сектора и сохранения оптимальных параметров в системе энергообеспечения	и непрерывное совершенствование бизнес-процессов с целью обеспечения устойчивого и ресурсосберегающего производства продовольствия
С – средний	$1,0 > I_{SRBP} \geq 0,8$	Конвергенция компонентов индекса и нормативных значений. Наличие проявления точечных негативных тенденций в элементах агропродовольственного сектора и связанных с ним энергообеспечивающих структурах	Предусматривается использование резервов повышения энергоэффективности производства продовольствия посредством оптимизации состава и структуры потребляемых ТЭР, а также расширения применения новых видов энергоносителей.

Уровень энергоэффективности производства продовольствия	Количественное значение интегрального индекса	Экономическая интерпретация	Направления корректирующих мер
Д – пониженный	$0,8 > I_{SRBP} \geq 0,6$	Отклонение от нормативных параметров в сторону ухудшения по всем компонентам индекса. Скачкообразное регрессивное развитие агропродовольственного сектора и элементов системы энергообеспечения	Особое внимание уделяется разработке и реализации инвестиционно-инновационных программ, направленных на внедрение качественно новых технологий и оборудования, а также инновационных подходов к организации производственной деятельности
Е – низкий	$0,6 > I_{SRBP} \geq 0,4$	Положение, представляющее угрозу эффективному потреблению ТЭР. Регресс агропродовольственного сектора и системы энергообеспечения	Необходим системный подход, базирующийся на комплексном поиске и внедрении наиболее эффективных форм и механизмов энергообеспечения и энергоиспользования. В его основе лежит применение инновационных технологий и оборудования, а также развитие альтернативных продуктов питания как прокси-фактора, которые объединяют новые сырьевые источники, современные биотехнологии и экологически устойчивые производственные методы. Такие решения способствуют снижению энергозатрат и повышению общей энергоэффективности продовольственного производства. Реализация данного подхода направлена на коренное улучшение энергетических показателей отрасли, а также на повышение устойчивости и конкурентоспособности продовольственного сектора экономики
Ф – очень низкий	$0,4 > I_{SRBP} \geq 0,2$	Системные и глубокие проблемы в использовании энергетических ресурсов в продовольственном секторе. Устойчивая деградация агропродовольственной системы и компонентов ее энергообеспечения	
Г – критический	$I_{SRBP} < 0,2$	Прогрессирующая деградация системы энергообеспечения, несоответствие текущего состояния энергетической инфраструктуры и энергопотребления установленным нормам и требованиям	

Примечание. Составлена по результатам собственных исследований.

В рамках предложенной методики нами выработаны критерии отнесения объектов к определенному уровню энергоэффективности в соответствии с характеристиками, представленными в табл. 3. Очень высокий уровень энергоэффективности достигается при положительной динамике или устойчивости обобщающих количественных показателей по всем ключевым компонентам. Фиксация отрицательной хотя бы по одной из составляющих свидетельствует о наличии проблем различной сложности в сферах энергосбережения, энергоэффективности, энергетического баланса или энергетического развития.

Визуализации интегрального индекса и его компонентов можно достигнуть при использовании следующих *графических методов*, позволяющих наглядно представить суммарные показатели и их элементы:

радиальные (паутинные, полярные) диаграммы – для построения многоугольников энергоэффективности с целью комплексной оценки нескольких компонентов интегрального индекса одновременно, визуализации их значений по разным осям и формирования многоугольников для выявления резервных (в которых имеются источники роста энергоэффективности) и критических (в которых превышены предельные параметры) зон энергоэффективности;

столбчатые диаграммы, гистограммы, линейные графики – для сравнения интегральных показателей между объектами или периодами, отображения динамики интегральных индексов и их компонентов во времени, выявления трендов и изменений, распределения значений компонентов или интегральных индексов по группам или категориям;

тепловые карты – для визуализации больших массивов данных с интегральными индексами и их компонентами, отражения интенсивности значений цветовыми способами и выявления закономерностей и аномалий (рис. 2).

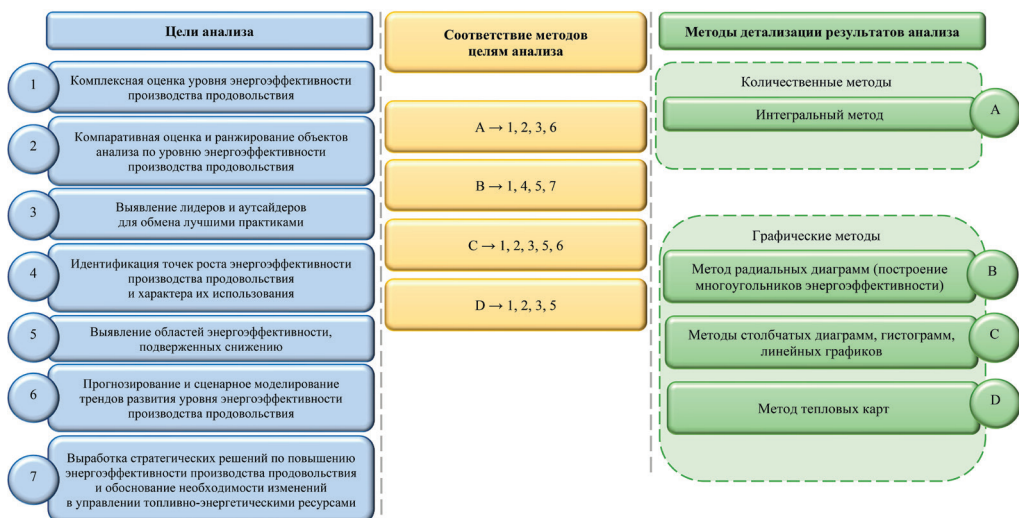


Рис. 2. Цели и методы детализации результатов анализа энергоэффективности производства продовольствия (выполнен по результатам собственных исследований)

Преимуществом разработанного SRBP-индекса является его универсальность, проявляющаяся в следующих аспектах:

индекс может быть дисагрегирован на четыре субиндекса, соответствующих основным доменам показателей, каждый из которых может использоваться как самостоятельный аналитический инструмент;

структура индекса обладает высокой гибкостью и адаптивностью: при необходимости более глубокого анализа различных явлений и процессов состав и структура показателей могут быть расширены за счет интеграции дополнительных параметров, определяемых специфическими исследовательскими задачами;

SRBP-индекс применим для оценки различных аспектов, формирующих энергоэффективность производства продовольствия, что обеспечивает возможность комплексного и многоуровневого анализа данного сложного технико-экономического явления.

Таким образом, отличительные особенности предложенной методики, определяющие ее научную новизну и практическую значимость, заключаются в следующем:

формирование теоретико-методологической базы для расширения и углубления исследований в области использования ТЭР в производстве продовольствия с акцентом на разработку методического обеспечения оценки уровня энергоэффективности агропродовольственного производства;

применение адаптивного математического инструментария для комплексного анализа эффективности энергопотребления как на отдельных этапах производственной цепи (сельское хозяйство, переработка), так и на уровне национальной агропродовольственной системы в целом;

внедрение унифицированной системы критериев и показателей оценки, структурированных по ключевым направлениям повышения энергоэффективности производства сельскохозяйственного сырья, продовольствия и пищевой продукции;

обеспечение возможности выбора масштабов анализа (агропродовольственная система в целом или ее подсистемы), форм представления результатов (аналитическая группировка, графическое визуальное отображение) и соответствующего инструментария экономической интерпретации в зависимости от требуемой глубины диагностики;

выявление потенциальных источников повышения энергоэффективности в отдельных звеньях производственной цепи (сельскохозяйственное производство, переработка) и в агропродовольственной системе в целом;

определение направлений хозяйственной деятельности, подверженных риску снижения энергоэффективности в перспективе вследствие превышения критических параметров функционирования агропродовольственной системы.

Применение разработанного подхода *будет способствовать:*

совершенствованию методологических основ оценки энергоэффективности производства продовольствия посредством интеграции ключевых принципов

рационального использования энергетических ресурсов и адаптации их к специфике агропромышленного производства в рамках единого алгоритмического инструментария;

повышению качества методического обеспечения процесса принятия стратегических управленческих решений и усилению научной обоснованности мер, направленных на эффективную трансформацию производственно-экономического потенциала агропродовольственных систем в условиях практической хозяйственной деятельности.

Заключение

Разработанная нами методика интегральной оценки уровня энергоэффективности производства продовольствия имеет научную новизну и практическую значимость:

1. Определение композитного SRBP-индекса, рассчитываемого на основе мультипликативной модели (средней геометрической) и включающего взаимодополняющие домены: энергосбережение (S), энергорезультативность (R), энергобалансированность (B) и энергопрогрессивность (P). Каждый домен интегрирует соответствующие критерии, такие как экономичность, рациональность, выгодность, производительность, оптимальность состава ресурсов, пропорциональность, инновационность, использование информационно-коммуникационных и цифровых технологий, а также экологоориентированность.

Количественная оценка интегрального SRBP-индекса энергоэффективности производства продовольствия осуществляется с помощью разработанной измерительной системы, показатели которой систематизированы по выделенным доменам и сгруппированы в соответствии с установленными критериями энергоэффективности.

Предложенный подход обеспечивает:

комплексную и объективную оценку уровня энергоэффективности производства продовольствия;

применение единой, структурированной по ключевым аспектам формирования энергоэффективности системы критериев и показателей;

использование гибкого математического инструментария, адаптированного для анализа эффективности энергопотребления как в отдельных звеньях производственной цепи (сельское хозяйство), так и на уровне агропродовольственной системы в целом.

2. Наличие рекомендаций по детализации и представлению результатов расчетов, обеспечивающих возможность выбора различных форм визуализации и интерпретации в зависимости от целей анализа, таких как комплексная оценка уровня энергоэффективности производства, компаративная оценка и ранжирование объектов по уровню энергоэффективности, выявление лидеров и аутсайдеров для обмена передовыми практиками, идентификация точек роста энергоэффективности, обнаружение областей, подверженных снижению энергоэффек-

тивности, прогнозирование и сценарное моделирование тенденций развития уровня энергоэффективности, а также формирование стратегических решений по повышению энергоэффективности производства продовольствия и обоснование необходимости изменений в управлении ТЭР.

В качестве форм представления результатов предложено использовать оценку по шкале интегральных параметров, построение многоугольников энергоэффективности, графическое моделирование с применением столбчатых диаграмм, гистограмм, линейных графиков, а также визуализацию данных тепловыми картами и пр.

Этот подход обеспечивает системность и гибкость в интерпретации результатов, что способствует повышению качества аналитических выводов и эффективности принятия управленческих решений в агропродовольственном секторе.

3. Применение матрицы интегрального анализа как системного инструмента для комплексной оценки энергоэффективности производства продовольствия, позволяющей:

установить текущее состояние энергоэффективности на основе многоуровневого ранжирования показателей, обеспечивающего всестороннее и детализированное понимание состояния исследуемой системы;

выявить характер и темпы развития основных параметров, отражающих динамику энергетических процессов в агропродовольственном секторе, что способствует своевременному осознанию тенденций и отклонений;

проанализировать взаимосвязи и структурные особенности функционирования системы посредством упорядочивания и классификации экономико-энергетических показателей, что позволяет выявить сильные и слабые звенья производственного процесса;

определить оптимальные направления корректирующих мер, адекватных текущим экономическим, технологическим и организационным условиям, обеспечивающих повышение эффективности использования ТЭР.

Применение разработанной аналитической матрицы способствует более глубокому пониманию технологических и экономических процессов, а также выявлению резервов роста энергоэффективности производства продовольствия, повышая качественный уровень управленческих решений и обеспечивая устойчивое развитие агропродовольственных систем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Montenegro, A. An Economic Development Index / A. Montenegro // EconPapers. – URL: <https://econwpa.ub.uni-muenchen.de/econ-wp/dev/papers/0404/0404010.pdf> (date of access: 01.07.2025).
2. Данилишин, Б. М. Индикатор подлинного прогресса как адекватный макроэкономический показатель общественного благосостояния / Б. М. Данилишин, О. А. Веклич // Проблемы прогнозирования. – 2010. – № 6. – С. 103–112.
3. Osberg, L. The Index of Economic Well-Being / L. Osberg, A. Sharpe // Challenge. – 2010. – Vol. 53, № 4. – P. 25–42. <https://doi.org/10.2753/0577-5132530402>.
4. Жундриков, А. Инфраструктура России: Индекс развития 2020 / А. Жундриков, Е. Якунина, А. Галактионова // Официальный сайт администрации Ртищевского муниципального

района. – URL: <http://rtishevo.sarmo.ru/upload/medialibrary/4f4/4f44ba561f37e4ddbd8dbbb45ae0b9d7.pdf> (дата обращения: 01.07.2025).

5. Human Development Report 2025: A matter of choice: People and possibilities in the age of AI // Human Development Reports. – URL: <https://hdr.undp.org/content/human-development-report-2025> (date of access: 01.07.2025).

6. The Integral Quality of Life Scale: Development, Validation, and Use / M. A. Verdugo, L. E. Gómez, B. Arias, R. L. Schalock // Enhancing the Quality of Life of People with Intellectual Disabilities / ed.: R. Kober. – Dordrecht: Springer, 2011. – P. 47–60. http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-9650-0_4.

7. Assessment of OECD Better Life Index by incorporating public opinion / G. Koronakos, Y. Smirlis, D. Sotiros, D. K. Despotis // Socio-Economic Planning Sciences. – 2020. – Vol. 70. – Art. 100699. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.03.005>.

8. Happiness Index Methodology / L. Musikanski, S. Cloutier, E. Bejarano [et al.] // Journal of Social Change. – 2017. – Vol. 9, iss. 1. – P. 4–31. <https://doi.org/10.5590/JOSC.2017.09.1.02>.

9. Satisfaction Index: Italian version and validation of a short form / F. Franchignoni, L. Tesio, M. Ottonello, E. Benevolo // American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation. – 1999. – Vol. 78, iss. 6. – P. 509–515. <https://doi.org/10.1097/00002060-199911000-00003>.

10. World Bank 2024. Business Ready 2024 // World Bank. – Washington, DC: World Bank, 2024. – 212 p. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-2021-2>.

11. Index of Economic Freedom // The Heritage Foundation. – URL: <https://www.heritage.org/index> (date of access: 01.07.2025).

12. Ács, Z. J. The Global Entrepreneurship and Development Index / Z. J. Ács, L. Szerb, E. Autio // Global Entrepreneurship and Development Index 2013 / Z. J. Ács, L. Szerb, E. Autio. – Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2013. – Ch. 4. – P. 26–52. <https://doi.org/10.4337/9781782540427.00009>.

13. Карпухин, А. И. Индекс развития малого бизнеса / А. И. Карпухин // Региональная экономика: теория и практика. – 2009. – № 30. – С. 58–64.

14. Маргарян, А. Ш. Оценка конкурентоспособности экономик стран Евразийского экономического союза / А. Ш. Маргарян, Д. Р. Галоян // Экономическая наука сегодня. – 2016. – № 4. – С. 172–177.

15. Разработка подходов к оценке влияния интеграции на уровень конкурентоспособности государств – членов ЕАЭС // Оценка влияния интеграции на уровень конкурентоспособности государств – членов Евразийского экономического союза. – М.: Евраз. экон. комис., 2024. – Гл. 1. – С. 5–39. – URL: https://eec.eaunion.org/upload/medialibrary/8bc/Doklad_12.12-_r_.pdf (дата обращения: 01.07.2025).

16. Financing Sustainable Development to 2030 and Mid-Century. Sustainable Development Report 2025 / J. D. Sachs, G. Lafortune, G. Fuller, G. Iablonovski. – Paris: SDSN, Dublin: Dublin University Press, 2025. – 492 p. <https://doi.org/10.25546/111909>.

17. Гаркавая, В. Г. Методика интегрированной оценки устойчивости развития регионов (на примере областей Республики Беларусь) / В. Г. Гаркавая // Вестник Белорусского государственного экономического университета. – 2007. – № 4. – С. 59–65.

18. Chelli, F. M. The Index of Sustainable Economic Welfare: A Comparison of Two Italian Regions / F. M. Chelli, M. Ciommi, C. Gigliarano // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2013. – Vol. 81. – P. 443–448. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.06.457>.

19. Бобылев, С. Н. Индикаторы устойчивого развития для городов / С. Н. Бобылев, О. В. Кудрявцева, С. В. Соловьева // Экономика региона. – 2014. – № 3. – С. 101–110.

20. Никитина, Т. И. Комплексная методика оценки уровня устойчивого социально-экономического развития сельских территорий / Т. И. Никитина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 4. – С. 106–112.

21. Кусакина, О. Н. Методика оценки устойчивого развития сельских территорий / О. Н. Кусакина, Ю. А. Дыкань // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 5-4. – С. 748–752.

22. Давтян, В. С. Оценка энергетической устойчивости стран ЕАЭС с применением индекса энергетической трилеммы / В. С. Давтян, С. Р. Хачикян // Экономические и социальные проблемы России. – 2025. – № 1. – С. 50–64.

23. Ермалинская, Н. В. Эффективное функционирование интегрированных структур в АПК: научные основы и организационно-экономический механизм обеспечения / Н. В. Ермалинская. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 146 с.
24. Манцерава, Т. Ф. Обзор методик оценки эффективности и устойчивости функционирования рынков энергетических ресурсов / Т. Ф. Манцерава, Е. П. Корсак // Актуальные проблемы физики, электроники и энергетики: электрон. сб. ст. I Междунар. науч.-практ. конф., Новополоцк, 27–28 окт. 2022 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой. – Новополоцк, 2023. – С. 222–227. – URL: <https://elib.psu.by/handle/123456789/38098> (дата обращения: 01.07.2025).
25. Показатели индекса ISI – универсального индекса международной безопасности / М. А. Абишева, А. Г. Савельев, А. Сагер [и др.] // Индекс безопасности. – 2008. – Т. 14, № 1. – С. 97–99.
26. Левкина, С. В. Особенности формирования интегральных индексов национальной безопасности / С. В. Левкина, В. И. Шацкая // Управленческое консультирование. – 2014. – № 1. – С. 117–123.
27. Зинченко, О. И. Интегральная оценка социально-экономической безопасности государства / О. И. Зинченко // Экономическая безопасность. – 2022. – Т. 5, № 3. – С. 757–774. <https://doi.org/10.18334/ecsec.5.3.114909>.
28. Блиничкина, Н. Ю. Особенности расчета индекса экономической безопасности на основе детерминант / Н. Ю. Блиничкина // Вестник Ленинградского государственного университета им. А. С. Пушкина. – 2015. – № 4. – С. 61–68.
29. Аллахвердиева, Л. А. Кибербезопасность как фактор развития цифровой экономики / Л. А. Аллахвердиева, Ф. Р. Бахшалиев // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2019. – № 6. – С. 41–50.
30. Зорина, Т. Г. Индикативный подход к оценке энергетической безопасности / Т. Г. Зорина, Б. И. Попов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2020. – № 2. – С. 107–123. <https://doi.org/10.38028/ESI.2020.18.2.009>.
31. Redesigning the Global Food Security Index: A Multivariate Composite I-Distance Indicator Approach / M. Maricic, M. Bulajic, M. Dobrota, V. Jeremic // International Journal of Food and Agricultural Economics. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 69–86.
32. Digital planet 2025. From the COVID Shock to the AI Surge: How 125 Digital Economies Around the World Are Evolving and Changing / B. Chakravorti, R. S. Chaturvedi, C. Filipovic, X. Niu. – London: Euromonitor International, 2025. – 95 p. – URL: <https://digitalplanet.tufts.edu/wp-content/uploads/2025/dei/Digital-Evolution-Index-2025.pdf> (date of access: 01.07.2025).
33. Камнева, В. В. Оценка уровня цифровизации на основе регионального индекса сетевой готовности / В. В. Камнева, Д. А. Баева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2021. – Т. 15, № 1. – С. 37–44.
34. Лавриненко, А. Р. Индекс инновационного развития регионов Республики Беларусь: методика построения и стратегический анализ / А. Р. Лавриненко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D. Экономические и юридические науки. – 2014. – № 5. – С. 28–37.
35. Global Innovation Index 2024: Unlocking the Promise of Social Entrepreneurship: 17th ed. / World Intellectual Property Organization; ed.: S. Dutta, B. Lanvin, L. Rivera León, S. Wunsch-Vincent. – Geneva, 2024. – 325 p. – URL: <https://www.wipo.int/web-publications/global-innovation-index-2024/en> (date of access: 01.07.2025).

Поступила в редакцию 11.07.2025

Сведения об авторе

Рудченко Галина Анатольевна – докторант, кандидат экономических наук, доцент

Information about the author

Rudchanka Halina Anatolievna – Doctoral Student, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor