

УДК 620.9

**ИНДИКАТИВНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Зорина Татьяна Геннадьевна,**

доктор экономических наук, доцент, зав. сектором «Экономика энергетики»,

email: [tanyazorina@tut.by](mailto:tanyazorina@tut.by),

**Попов Борис Игоревич**

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,

e-mail: [birpopovby@gmail.com](mailto:birpopovby@gmail.com),

Институт энергетики НАН Беларуси

г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В статье рассматриваются существующая методика оценки энергетической безопасности в Республике Беларусь, применение индикативного подхода для оценки энергобезопасности, производится расчет интегрального показателя энергетической безопасности Республики Беларусь с использованием индикативного подхода.

**Ключевые слова:** энергетическая безопасность, оценка, методика, индикатор, интегральный показатель, индикативный подход.

**Цитирование:** Зорина Т. Г., Попов Б.И. Индикативный подход к оценке энергетической безопасности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 2 (18). С. 107 – 123. DOI: 10.38028/ESI.2020.18.2.009.

**Введение.** До создания Концепции энергетической безопасности основным направлением формирования стратегии развития энергетики был метод приведенных затрат. Однако он позволял производить оценку только экономической эффективности решения, но не степень его комплексного влияния на уровень энергетической безопасности страны.

С 2005 года главным документом, определяющим стратегию развития энергетики Республики Беларусь на долгосрочную перспективу, стала Концепция энергетической безопасности, в которой основное внимание уделяется технологическим показателям функционирования энергосистемы. Первый (2005 г.) и второй (2007 г.) варианты Концепции были утверждены указами Президента Республики Беларусь и определяли основные прогнозные показатели развития энергосистемы страны до 2020 года. В декабре 2015 года на этот раз уже Правительством был утвержден третий вариант Концепции на период до 2035 года.

Под энергетической безопасностью согласно Концепции понимается состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества, от угроз нарушения бесперебойности энергоснабжения [3, 6].

Существующий подход к оценке энергетической безопасности Республики Беларусь. В Концепции энергобезопасности Республики Беларусь, принятой в 2015 г., состояние энергетической безопасности оценивается системой из 11-ти индикаторов, сгруппированных в 4 блока. Методология оценки состояния энергобезопасности состоит в сравнении фактических значений индикаторов по годам с «пороговыми» значениями. В табл.1 можно

Таблица 1. Плановые и фактические значения индикаторов энергетической безопасности Республики Беларусь

| Индикатор  | Пороговые уровни |     | Значения индикаторов по годам |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--|------------------|-----|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|  |                  |     | 2010                          | 2015 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 |      |      |  |
|  | Н                | К   | факт                          | план | факт | факт | факт | факт | факт | план | план | план | план | план | план |  |
| <b>Энергетическая самостоятельность</b>  |                  |     |                               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Отношение объема производства (добычи) первичной энергии к валовому потреблению ТЭР, %   | 30               | 16  | 14                            | 14   | 14   | 15   | 15   | 15   | 16   | 16   | 16   | 17   | 18   | 20   |      |  |
|  |                  |     | К                             | К    | К    | К    | К    | К    | К    | К    | К    | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   |  |
| Отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников к валовому потреблению ТЭР, %                      | 14               | 5   | 5                             | 5    | 5    | 5,7  | 6,2  | 6    | 6,7  | 6    | 7    | 8    | 9    |      |      |  |
|  |                  |     | К                             | К    | К    | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   |      |  |
| <b>Диверсификация поставщиков и видов энергоресурсов</b>   |                  |     |                               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Доля доминирующего поставщика энергоресурсов в общем импорте ТЭР, %  | 65               | 85  | 96                            | 90   | 90   | 99   | 99   | 99,6 | 99,3 | 85   | 80   | 75   | 70   |      |      |  |
|  |                  |     | К                             | К    | К    | К    | К    | К    | К    | К    | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   |      |  |
| Доля доминирующего вида топлива в валовом потреблении ТЭР, %   | 50               | 70  | 64                            | 60   | 60   | 61,4 | 61   | 61   | 61,8 | 57   | 55   | 52   | 50   |      |      |  |
|  |                  |     | ПК                            | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   |      |  |
| <b>Надежность поставок, резервирование, переработка и распределение ТЭР</b>  |                  |     |                               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Отношение суммарной установленной мощности электростанций к максимальной фактической нагрузке в энергосистеме (резервирование), %        | 140              | 95  | 127                           | 160  | 160  | 175  | 176  | 176  | 169  | 160  | 155  | 150  | 145  |      |      |  |
|  |                  |     | ПК                            | ПК   | ПК   | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    |      |  |
| Удельный вес накопленной амортизации в первоначальной стоимости основных средств организаций ТЭК, %                                      | 45               | 75  | 48                            | 46   | 46   | 44   | 46   | 46   | 45   | 43   | <45  | <45  | <45  |      |      |  |
|  |                  |     | ПК                            | ПК   | ПК   | Н    | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | Н    | Н    | Н    | Н    |      |  |
| Отношение объема инвестиций в основной капитал, вложенных в развитие ТЭК, к первоначальной стоимости основных средств организаций ТЭК, % | 6                | 4   | 7,3                           | 7    | 7    | 3,7  | 7    | 7    | 7    | 7    | 6,5  | 6,5  | 6,5  |      |      |  |
|  |                  |     | Н                             | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    |      |  |
| Доля доминирующего энергоресурса (газа) в производстве тепловой и электрической энергии, %   | 50               | 80  | 91,4                          | 90   | 90   | 97   | 90   | 90   | 98   | 70   | 60   | 50   | <50  |      |      |  |
|  |                  |     | К                             | К    | К    | К    | К    | К    | К    | К    | ПК   | ПК   | Н    | Н    |      |  |
| Отношение среднесуточного количества нарушений электроснабжения населенных пунктов за год к общему количеству населенных пунктов, %      | 0,5              | 2   | 0,3                           | <0,5 | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,2  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  |      |      |  |
|  |                  |     | Н                             | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    | Н    |      |  |
| <b>Энергетическая эффективность конечного потребления ТЭР и экономическая устойчивость ТЭК Беларуси</b>                                  |                  |     |                               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Энергоемкость ВВП (в ценах 2005 г.), <del>млн.</del> /млн. руб.  | 160              | 485 | 426                           | 378  | 378  | 375  | 376  | 309  | 346  | 370  | 353  | 317  | 268  |      |      |  |
|  |                  |     | ПК                            | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   |      |  |
| Отношение стоимости импорта энергетических товаров к ВВП, %  | 15               | 30  | 21,7                          | 20   | 20   | 15   | 15   | 14   | 15,4 | 19   | 18   | 17   | 15   |      |      |  |
|  |                  |     | ПК                            | ПК   | ПК   | Н    | Н    | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   | ПК   |      |  |

увидеть плановые (согласно Концепции энергобезопасности Республики Беларусь) и фактические значения индикаторов энергетической безопасности [3, 4, 7].

Так можно видеть из данных, представленных в таблице 1, отдельные индикаторы уже в 2018-2019 гг. достигли планового значения 2020 г. Это показатели блоков «Энергетическая самостоятельность», «Надежность поставок, резервирование, переработка и распределение ТЭР» и «Энергетическая эффективность конечного потребления ТЭР и экономическая устойчивость ТЭК Беларуси».

#### **Методология расчета интегрального показателя энергетической безопасности.**

Одной из последних тенденций в области оценки сложных систем является использование интегральных индексов, позволяющих охарактеризовать состояние и/или устойчивость развития системы [1, 2, 12, 18]. Неудовлетворительное значение какого-либо индикатора или области оценки системы может быть скомпенсировано приемлемым значением других областей или индикаторов, что отразится в значении интегрального индекса. Аналогичный подход может быть использован для оценки энергобезопасности системы одним комплексным показателем. На основе существующих показателей можно разработать интегральный показатель, значение которого опишет энергосистему комплексно, с разных сторон.

Было проведено исследование методологии многокритериального анализа и сделаны следующие выводы:

- Многие научно-практические задачи управленческо-экономического характера решаются современными методами, основанными на многокритериальном анализе решений (МКАР; Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA) [8-11, 13-17, 19].
- Методы МКАР можно применить к временному ряду состояний развивающейся системы.
- Оценка энергетической безопасности страны может рассматриваться как решение задачи анализа системы, характеризуемой многими критериями или, иначе, факторами или индикаторами. Изменение этих индикаторов будет приводить к развитию состояния системы – энергетической безопасности – во времени.

Реализация методов МКАР, включающих использование многофакторной теории ценности, в применении к задаче оценки энергетической безопасности будет представлять собой определенную процедуру, основу которой составляет построенное по иерархическому принципу дерево целей или, в терминах задачи оценки энергобезопасности, дерево индикаторов, изображенное на рисунке 1. Дерево целей/индикаторов позволяет структурировать поставленную многокритериальную задачу по иерархическому принципу. На рисунке 1 наивысшим уровнем иерархии является общая оценка энергобезопасности. Следующим уровнем иерархии является количество специфических областей, равное 3, по которым производится общая оценка. Низшим уровнем иерархии является набор выраженных в натуральных единицах индикаторов, количество которых в первой области равно 2, во второй области – 4 и в третьей – 3.

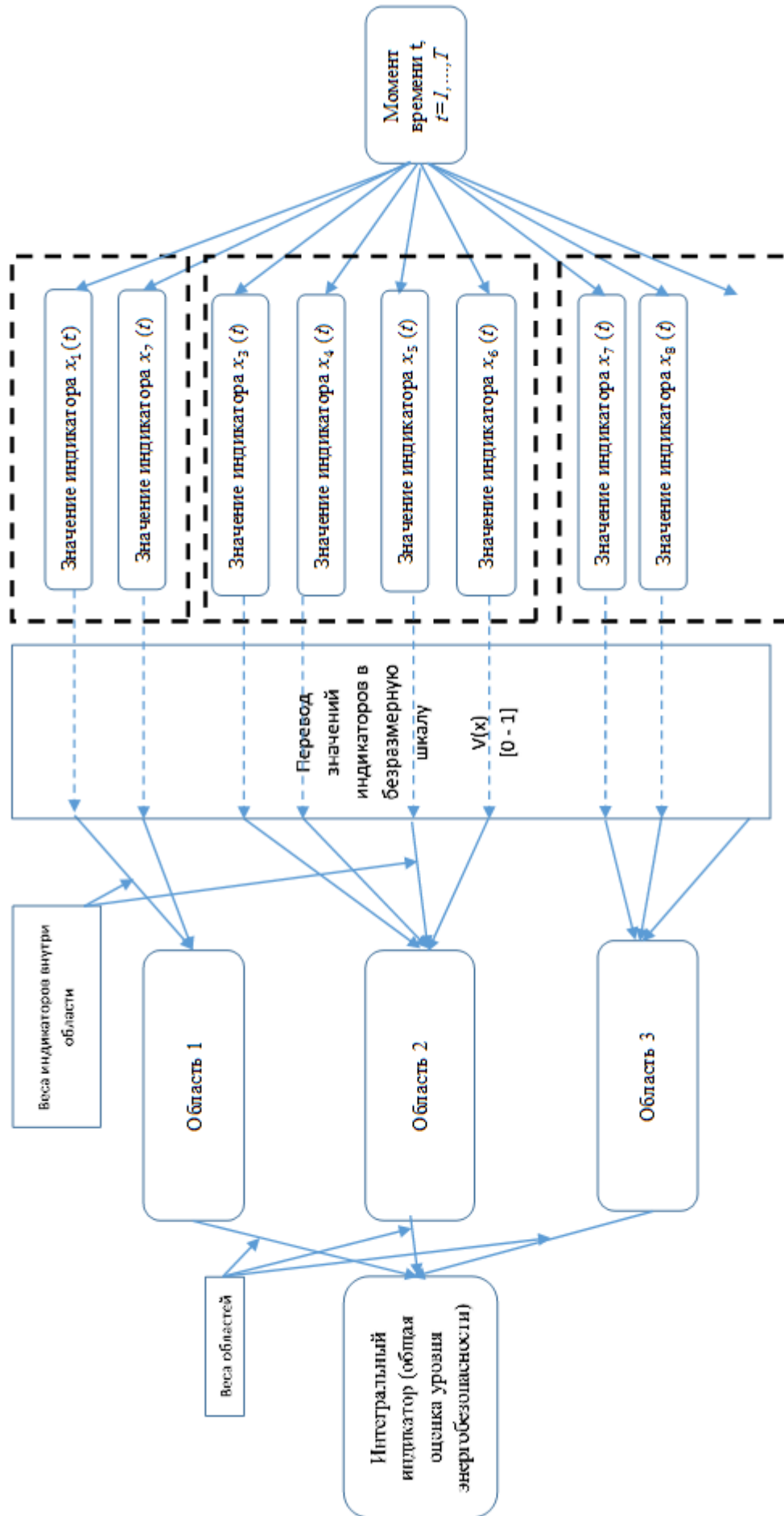


Рис. 1. Дерево целей/индикаторов

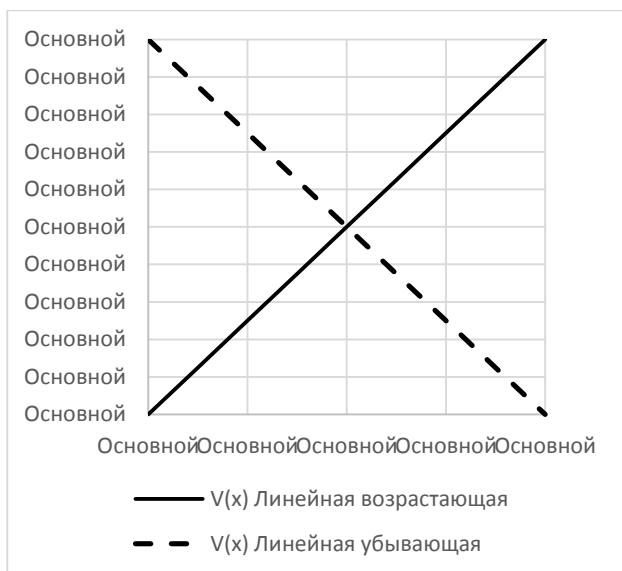
Индикаторы системы представляют собой показатели системы, выраженные в различных натуральных единицах для рассматриваемых моментов времени. Поэтому следующим шагом процедуры в соответствии с многофакторной теорией ценности является перевод этих единиц в безразмерную шкалу в едином интервале, например,  $[0 - 1]$ , с помощью так называемых однофакторных функций ценности для каждого индикатора  $V_j(x_j)$ . Далее именно эти функции используются для представления того или иного индикатора. Помимо преобразования индикаторов в безразмерную шкалу, однофакторные функции ценности должны иметь вид, позволяющий ответить на вопрос: «Что «хорошо» и что «плохо» для исследуемой системы при изменении данного индикатора?». Другими словами, что благоприятно сказывается на исследуемой системе: увеличение или уменьшение величины индикатора? В зависимости от этого используются возрастающие в первом случае (увеличение индикатора благоприятно для системы) или убывающие во втором случае однофакторные функции ценности.

В таблице 2 представлены примеры однофакторных функций ценности.

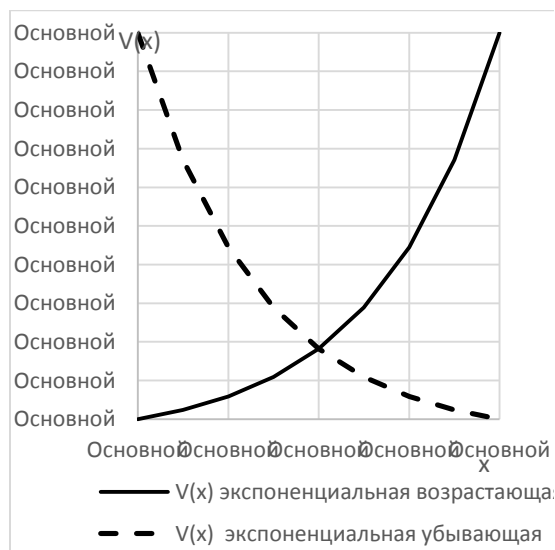
**Таблица 2.** Примеры однофакторной функции ценности

| Тип              | Возрастающая функции ценности  | Убывающая функции ценности   |
|------------------|--|--|
| Линейная         | $V(x) = \frac{x - x^{\min}}{x^{\max} - x^{\min}}$  | $V(x) = \frac{x^{\max} - x}{x^{\max} - x^{\min}}$  |
| Полиномиальная   | $V(x) = \left( \frac{x - x^{\min}}{x^{\max} - x^{\min}} \right)^a$                                 | $V(x) = \left( \frac{x^{\max} - x}{x^{\max} - x^{\min}} \right)^a$                                 |
| Экспоненциальная | $V(x) = \frac{1 - \exp\left(a \cdot \frac{x - x^{\min}}{x^{\max} - x^{\min}}\right)}{1 - \exp(a)}$ | $V(x) = \frac{1 - \exp\left(a \cdot \frac{x^{\max} - x}{x^{\max} - x^{\min}}\right)}{1 - \exp(a)}$ |
| Логарифмическая  | $V(x) = \frac{\ln\left(a \cdot \frac{x - x^{\min}}{x^{\max} - x^{\min}} + 1\right)}{\ln(a + 1)}$   | $V(x) = \frac{\ln\left(a \cdot \frac{x^{\max} - x}{x^{\max} - x^{\min}} + 1\right)}{\ln(a + 1)}$   |

В таблице 2  $x^{\min}$  и  $x^{\max}$  – минимальное и максимальное значения индикатора. На рисунках 2 и 3 примеры однофакторных функций ценности представлены в графическом виде при  $x^{\min} = 1$ ,  $x^{\max} = 5$  и параметра  $a = 3$ . Наиболее часто используются линейные однофакторные функции. Использование параметра  $a$  в однофакторных функциях более сложного вида позволяет учесть различную чувствительность системы к изменению исследуемого индикатора в разных областях его значений.



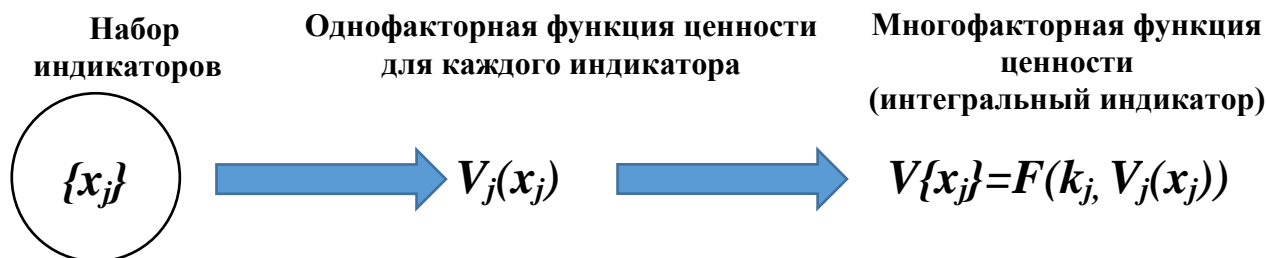
**Рис. 2.** Линейная однофакторная функция



**Рис. 3** Экспоненциальная однофакторная функция

Выбор однофакторных функций является не формализуемым этапом процедуры и нуждается в проведении анализа чувствительности результатов оценки к виду этих функций.

Однофакторные функции свертываются далее в многофакторную функцию ценности, как это показано на рисунке 4. На рисунке 4  $k_j$  – весовые коэффициенты, с которыми взвешиваются однофакторные функции, чтобы получить многофакторную функцию. Многофакторная функция и будет тем интегральным индексом, который представляет состояние системы.



**Рис. 4.** Многофакторная функция ценности

Хотя общий вид многофакторной функции ценности более сложен, на практике чаще всего используют простую аддитивную форму функции:

$$V\{x_j\} = \sum_{j=1}^n k_j V_j(x_j); \quad \sum_{j=1}^n k_j = 1. \quad (1)$$

В выражении (1)  $k_j$  - веса индикаторов, нормированные на 1 (хотя возможна и другая нормировка, например, 100),  $k_j$  в соответствии со схемой процедуры:

$$k_j = k_j^i k^i \quad (2)$$

где  $k_j^i$  – вес индикатора  $j$  в области  $i$ , нормированный на 1 по соответствующим  $j$ , а  $k^i$  – вес области  $i$  в интегральном индикаторе, также нормированный на 1.

Аддитивность интегрального индекса позволяет представить его как сумму индексов по отдельным областям оценки. Далее для простоты будем обозначать как  $V(x)$ . Для рассмотренного выше примера с тремя областями:

$$V(x) = V_1(x) + V_2(x) + V_3(x) \\ V_1(x) = \sum_{j=1}^2 k_j V_j(x_j); \quad V_2(x) = \sum_{j=3}^6 k_j V_j(x_j); \quad V_3(x) = \sum_{j=7}^9 k_j V_j(x_j), \quad (3)$$

где  $V_1(x)$ ,  $V_2(x)$ ,  $V_3(x)$  – вклады индексов соответствующих областей в интегральный индекс.

Определение весовых коэффициентов для свертки однофакторных функций ценности является наиболее ответственным этапом расчета интегрального индикатора. В настоящее время существуют различные алгоритмы определения весов индикаторов:

- прямой метод: веса для всех индикаторов указываются напрямую;
- метод ранжирования: при ранжированном взвешивании указываются ранги для индикаторов; самый важный индикатор имеет ранг 1;
- метод рейтинга: для каждого индикатора определяются рейтинговые баллы; самому важному показателю присваивается рейтинг в 100 баллов, а затем все остальные индикаторы соотносятся с наиболее важным;
- метод парных сравнений: в качестве метода взвешивания используется парное сравнение индикаторов по важности (этот метод применяется, например, при расчете интегрального индикатора устойчивого развития);
- метод свинга: метод позволяет учитывать колебания шкал индикаторов и соответствующей относительной важности.

**Расчет интегрального показателя энергетической безопасности Республики Беларусь.** Для демонстрации предлагаемого подхода к оценке энергетической безопасности в данном разделе приведены результаты расчета интегрального индикатора и индикаторов по областям оценки для системы детальных индикаторов из Концепции энергобезопасности 2015. Также проведена оценка чувствительности результатов к изменению весов областей и индикаторов внутри областей.

В таблице 3 приведены характеристики, необходимые для расчета. Минимальные и максимальные значения индикаторов приняты на основе эмпирических данных, используя статистическую информацию по Республике Беларусь в период 1995-2019 гг.

Для базового расчета приняты одинаковые веса для областей оценки и индикаторов внутри каждой области, хотя как результат определения весов одним из вышеописанных методов или предпочтений лица, принимающего решения, эти веса могут различаться. Диапазон изменения значений индикаторов принят на основе фактических данных 2010 – 2018 гг. В качестве однофакторных функций ценности приняты линейные функции восходящего или нисходящего характера в зависимости от смысла соответствующего индикатора. Следует, однако, отметить, что для индикатора «И5: Отношение суммарной установленной мощности электростанций к максимальной фактической нагрузке в энергосистеме (резервирование)» определение области для восходящей функции нуждается в уточнении, поскольку повышение величины резерва после определенного значения будет отрицательно сказываться на экономичности системы как одной из аспектов энергетической безопасности.

Таблица 3. Характеристики расчета интегрального индекса

| Блок  | Вес блока | Индикатор   | Вес индикатора в блоке | Вес индикатора | Минимум индикатора | Максимум индикатора | Функция ценности    |
|---|-----------|---|------------------------|----------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Б1. Энергетическая самостоятельность  | 0,25      | И1: Отношение объема производства (добычи) первичной энергии к валовому потреблению ТЭР   | 0,5                    | 0,125          | 13                 | 17                  | Линейная восходящая |
|   |           | И2: Отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР              | 0,5                    | 0,125          | 4                  | 7                   | Линейная восходящая |
|   |           | И3: Доля доминирующего поставщика энергоресурсов в общем импорте ТЭР  | 0,5                    | 0,125          | 80                 | 100                 | Линейная нисходящая |
| Б2. Диверсификация поставщиков и видов энергоресурсов                                       | 0,25      | И4: Доля доминирующего вида топлива в валовом потреблении ТЭР   | 0,5                    | 0,125          | 50                 | 70                  | Линейная нисходящая |
|   |           | И5: Отношение суммарной установленной мощности электростанций к максимальной фактической нагрузке в энергосистеме (резервирование)        | 0,2                    | 0,05           | 120                | 180                 | Линейная восходящая |
| Б3. Надежность поставок, резервирование, переработка и распределение ТЭР                    | 0,25      | И6: Удельный вес накопленной амортизации в первоначальной стоимости основных средств организаций ТЭК                                      | 0,2                    | 0,05           | 40                 | 50                  | Линейная восходящая |
|   |           | И7: Отношение объема инвестиций в основной капитал, вложенных в развитие ТЭК, к первоначальной стоимости основных средств организаций ТЭК | 0,2                    | 0,05           | 3                  | 8                   | Линейная восходящая |
|   |           | И8: Доля доминирующего энергоресурса (газа) в производстве тепловой и электрической энергии   | 0,2                    | 0,05           | 85                 | 100                 | Линейная нисходящая |
| Б4. Энергетическая эффективность конечного потребления ТЭР и экономическая устойчивость ТЭК | 0,25      | И9: Отношение среднесуточного количества нарушенных электроснабжения населенных пунктов за год к общему количеству населенных пунктов     | 0,2                    | 0,05           | 0,3                | 1,0                 | Линейная нисходящая |
|   |           | И10: Энергоемкость ВВП (в ценах 2005 года)  | 0,5                    | 0,125          | 300                | 485                 | Линейная нисходящая |
|   |           | И11: Отношение стоимости импорта энергетических товаров к ВВП, %  | 0,5                    | 0,125          | 13                 | 22                  | Линейная нисходящая |
|   |           | Σ   | Σ                      | 1,000          |                    |                     |                     |



Результаты расчета интегрального индикатора и его составляющих по областям оценки показаны на диаграмме рисунка 5. Из него видно, что в целом энергобезопасность республики за рассмотренный период времени возрастает.

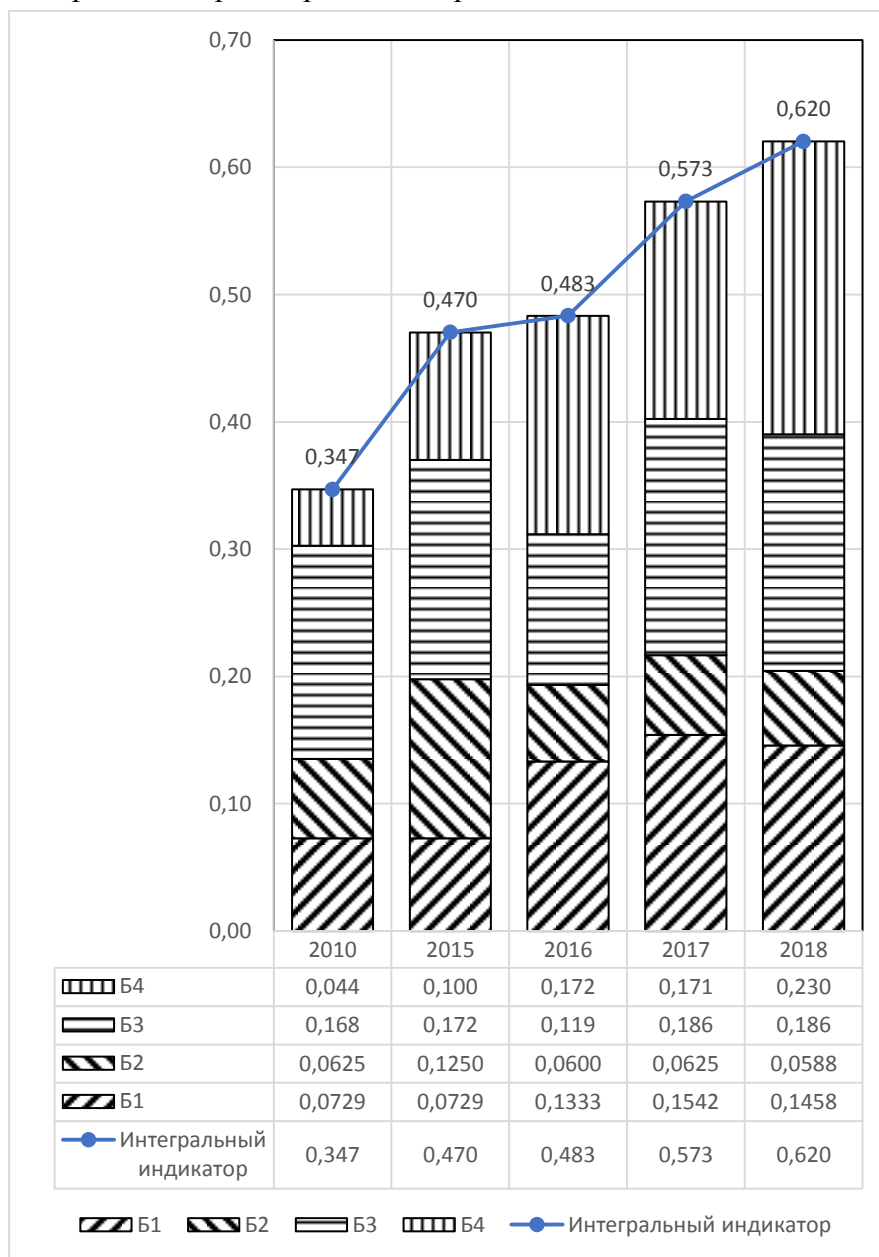


Рис. 5. Интегральный индикатор энергобезопасности и его составляющие

Результаты подтверждают то, что было сказано выше: отдельные области оценки могут приводить к снижению энергобезопасности, но могут быть скомпенсированы более значительным улучшением индикаторов других областей (рисунки 6, 7). Так, в 2016 г. по сравнению с 2015 г. ухудшились показатели энергобезопасности во 2-й и 3-й областях оценки, но это отрицательное влияние было скомпенсировано, хотя и с небольшим избытком, повышением энергобезопасности в 1-й и 4-й областях оценки. Причины ухудшения показателей в некоторых аспектах энергобезопасности в 2016 г.: резко ухудшился индикатор Блока 2 «ИЗ: Доля доминирующего поставщика энергоресурсов в общем импорте ТЭР», достигнув в 2018 г. без малого 100 %.

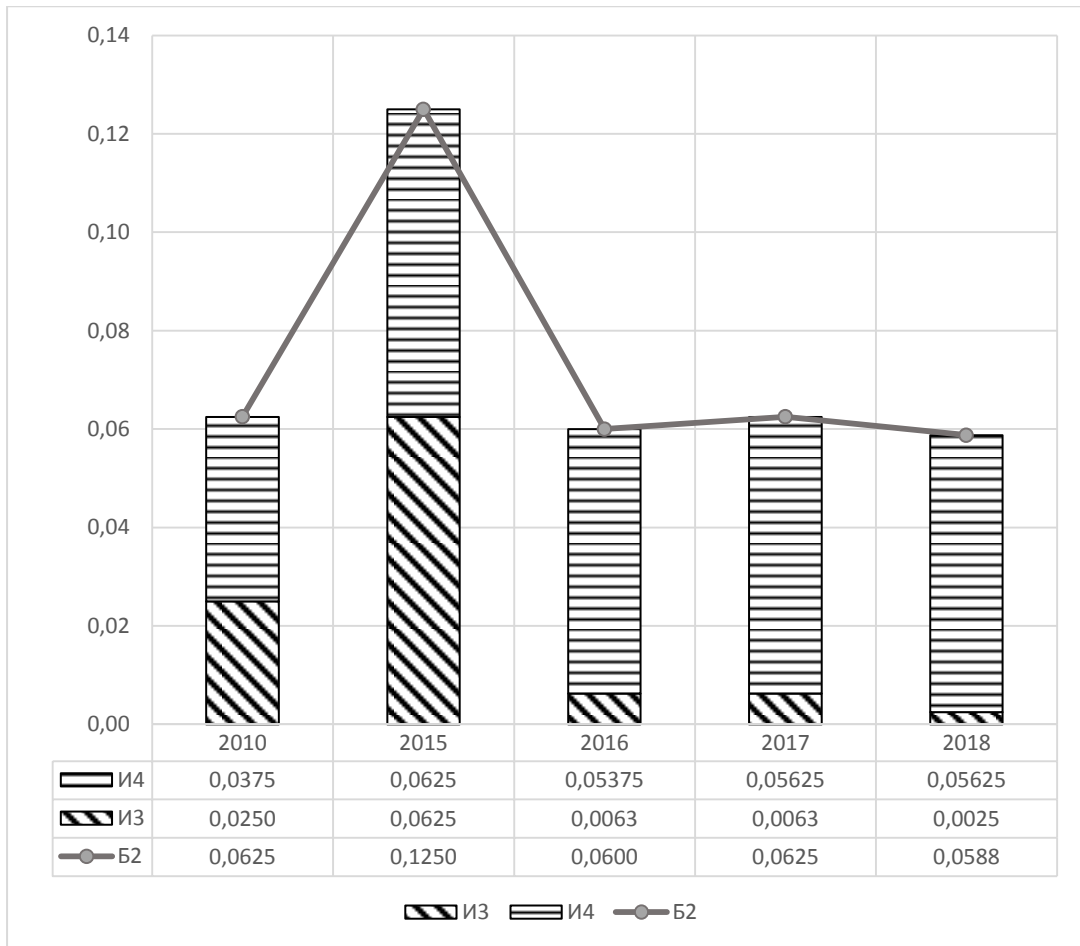


Рис. 6. Индикаторы энергобезопасности Блока 2

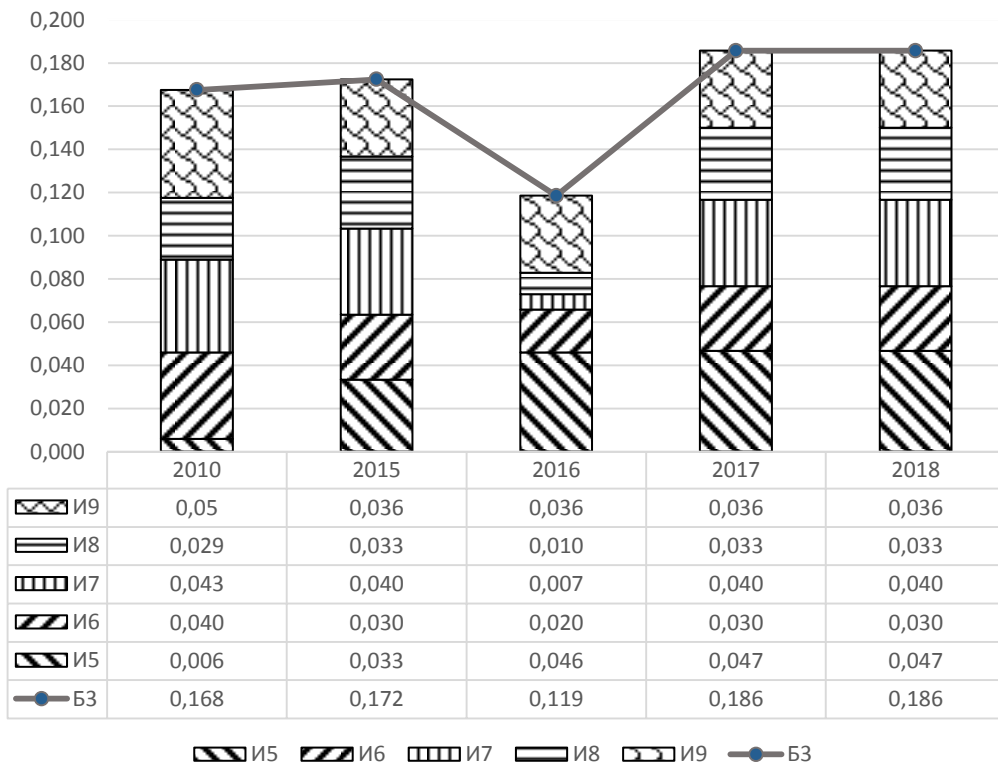
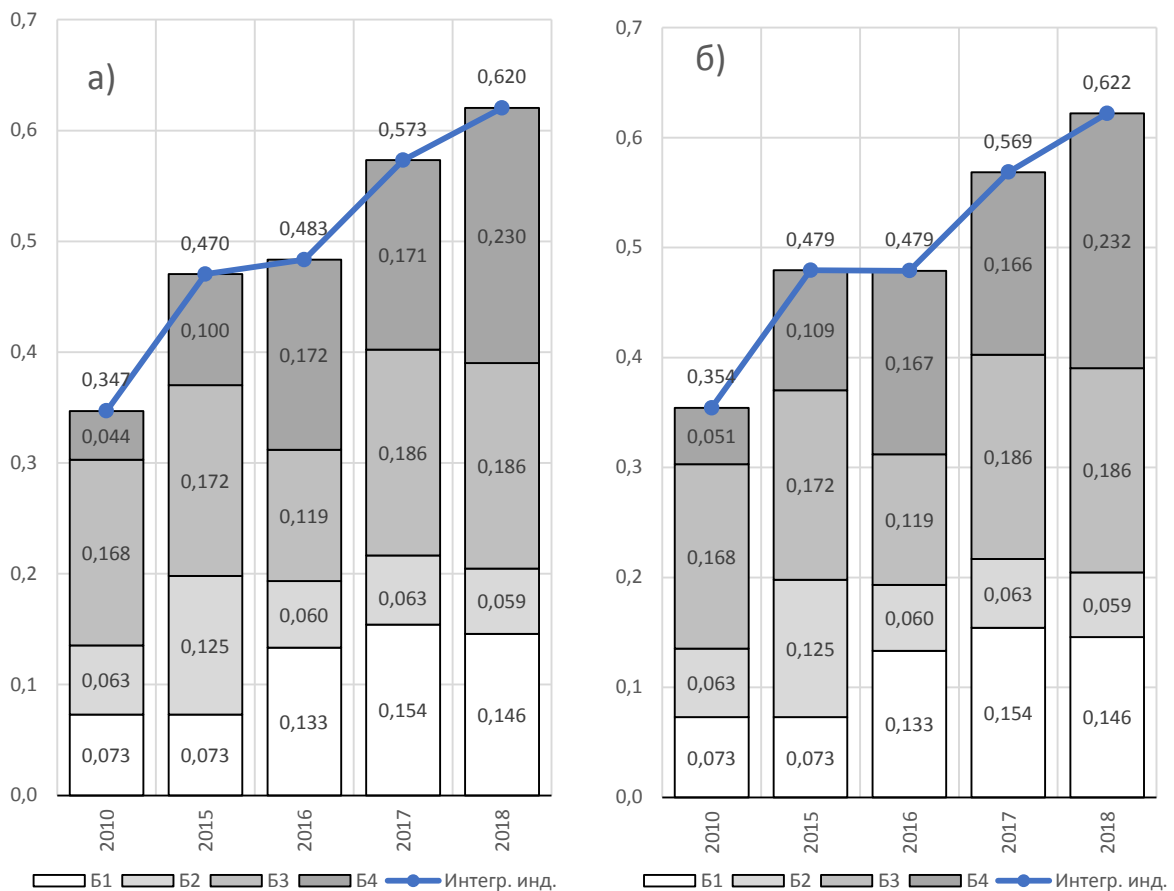


Рис. 7. Индикаторы энергобезопасности Блока 3

**Анализ чувствительности результатов к изменению весов индикаторов внутри блоков.** Как указывалось ранее, анализ чувствительности является необходимым элементом оценки состояния системы по изложенной выше методологии.

Исследование показало, что чувствительность величин, как индикаторов отдельных блоков, так и интегрального индикатора, к довольно существенным вариациям индикаторов внутри блоков ( $\pm 20\%$ ) относительно невысока, за исключением индикатора Блока 4, который изменяется в 2010 – 2015 гг. в пределах 9 – 16 %. Однако вклад данного блока в интегральный индикатор невелик, поэтому интегральный индикатор изменяется незначительно. Практически не изменяется, как видно из рисунка 8, и качественный характер оценки общего уровня энергобезопасности.

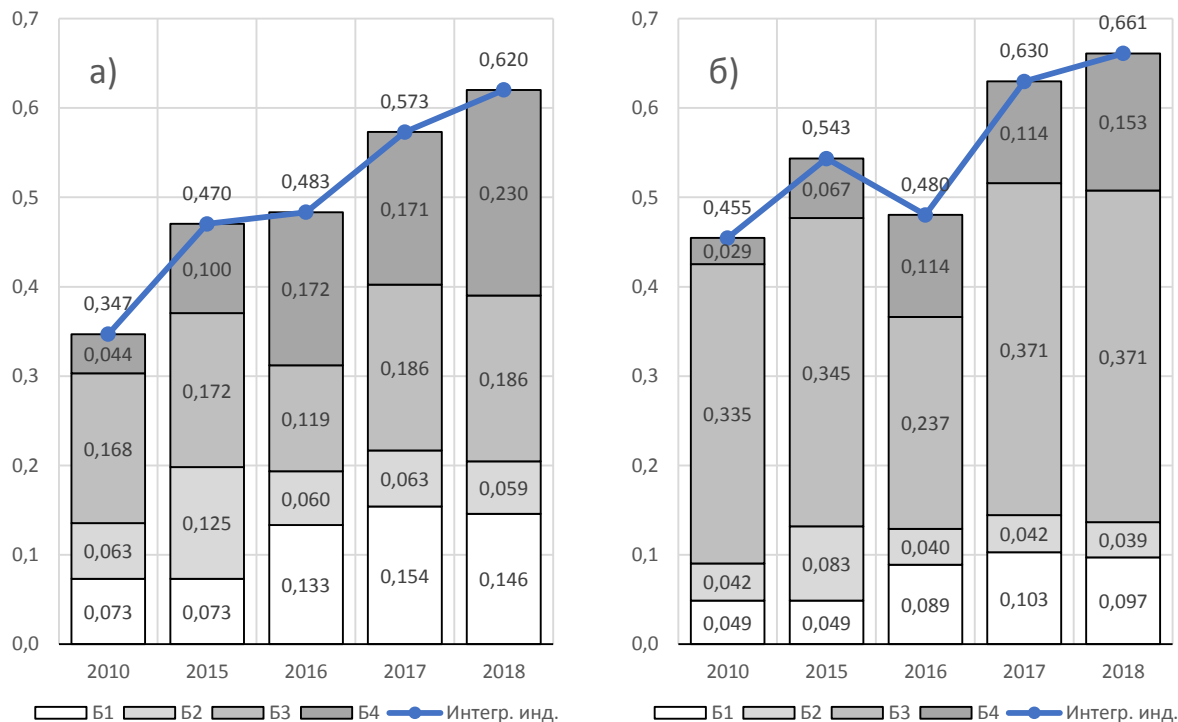


**Рис. 8.** Сравнение базового расчета интегрального индикатора (а) и расчета при вариации индикаторов И10 и И11 Блока 4 в размере  $\pm 20\%$  соответственно (б).

Таким образом, есть веские основания для утверждения об устойчивости интегральной оценки рассмотренной системы индикаторов энергетической безопасности Республики Беларусь по отношению к вариациям весов индикаторов внутри отдельных блоков оценки.

**Анализ чувствительности индикаторов к изменению весов блоков.** Как и при анализе чувствительности от вариаций индикаторов внутри блоков, знаки изменений интегрального индикатора меняются на противоположные при замене на противоположный знак вариации. Как индикаторы отдельных блоков, так и интегральный индикатор мало

чувствительны к вариациям индикаторов блоков в пределах  $\pm 20\%$ . Лишь при значительном увеличении веса индикатора Блока 3 наблюдается изменение качественного характера поведения интегрального индикатора: он «проседает» в 2016 г. из-за уменьшения в этом году индикатора «И6: Удельный вес накопленной амортизации в первоначальной стоимости основных средств организаций ТЭК» в Блоке 3. Визуально этот эффект виден на рисунке 9.

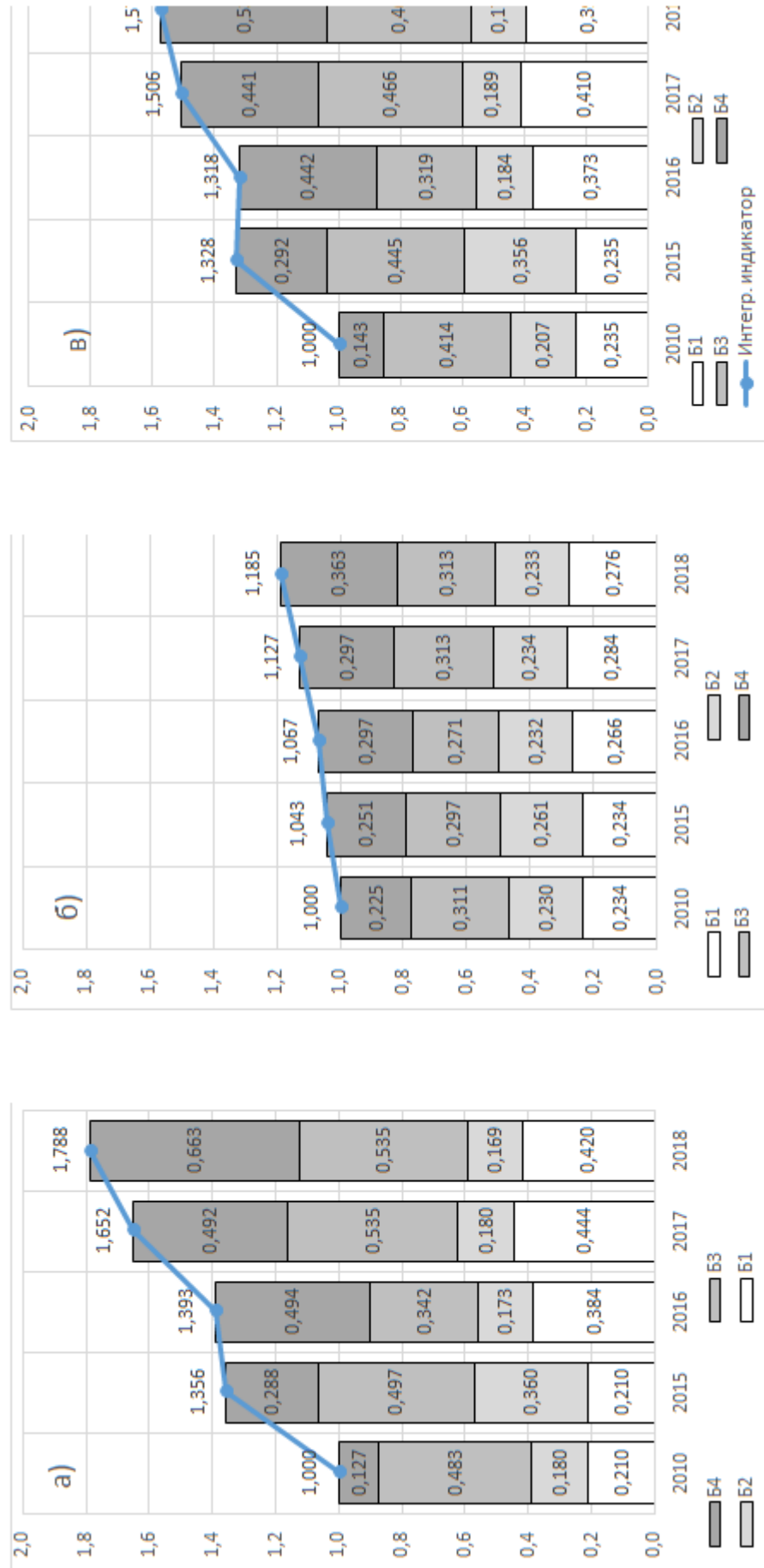


**Рис. 9.** Сравнение базового расчета интегрального индикатора (а) и расчета при вариации индикатора Блока 3 в размере +100 % (б).

**Анализ чувствительности к изменению однофакторных функций ценности.** На рисунке 10 показано поведение интегрального индикатора и его составляющих для различных однофакторных функций ценности. Для более наглядного сравнения при данном анализе чувствительности интегральный индикатор вместе с его составляющими нормирован на 1 по отношению к 2010 г.

Как видно из рисунка 10, несмотря на различия в величине интегрального индикатора для разных функций ценности, остается неизменной основная особенность его поведения – возрастание от начала к концу временного периода. Это дает основание для заключения об устойчивости поведения интегрального индикатора по отношению к выбору однофакторных функций ценности.

Поскольку линейные функции ценности наиболее просты в применении и дают более контрастную картину поведения индикаторов блоков при сохранении основной тенденции поведения, именно эти функции можно рекомендовать для оценок уровня энергетической безопасности Республики Беларусь.



**Рис. 10.** Интегральный индикатор и его составляющих для однофакторных функций ценности: а) – линейных; б) – экспоненциальных; в) – логарифмических

**Заключение.** Основные направления совершенствования Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь:

- плановые показатели по существующим индикаторам энергетической безопасности должны быть пересмотрены, поскольку по отдельным индикаторам по результатам 2019 г. фактически наблюдается перевыполнение плановых показателей 2020 г.;
- при разработке новой редакции Концепции энергетической безопасности целесообразно использовать применение индикативного подхода путем оценки энергетической безопасности единым интегральным индикатором и его составляющими – групповыми индикаторами, представляющими отдельные блоки системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зорина Т.Г. Устойчивое энергетическое развитие Республики Беларусь: теория, методология, экономический механизм /Диссертация на соискание степени доктора экономических наук. Минск. 2016. 476 с.
2. Иоселиани А.Н., Михалевич А.А., Нестеренко В.Б., Салуквадзе М.Е. Методы оптимизации параметров теплообменных аппаратов АЭС. Минск.: Наука и техника. 1981. 144 с.
3. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23 декабря 2015 г. № 1084.
4. Моделирование рынка электрической энергии Беларуси в рамках Единого экономического пространства с целью определения изменения уровня энергетической безопасности / Отчет о НИР по заданию Энергетические системы, процессы и технологии 1.1.03 (заключительный). РНПУП «Институт энергетики НАН Беларуси». Минск. 2018. 179 стр.
5. Развитие методологии определения уровня и обеспечения энергетической безопасности с использованием детерминистских методов / Отчет о НИР по заданию Энергетические системы, процессы и технологии 1.1.01 (заключительный). РНПУП «Институт энергетики НАН Беларуси». Минск. 2018. 305 стр.
6. Энергетическая безопасность России / В.В. Бушуев, Н.И. Воропай, А.М. Мастепанов и др. Новосибирск: Наука, Сиб. изд. фирма РАН. 1998. 306 с.
7. Энергетический баланс Республики Беларусь. // Статистический сборник Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Минск. 2019. 154 с.
8. Яцало Б.И., Грицюк С.В., Диденко В.И., Мирзеабасов О.А. Система многокритериального анализа DecernsMCDA и ее практическое применение. // Программные продукты и системы. Международный научно-практический журнал. № (106). 2014. С. 73 – 84.
9. Carver S.J. Integrating multicriteria evaluation with geographical information systems. Intern. Journ. of Geographical Information Systems. 1991. vol. 5 (3). Pp. 321–339.
10. Chakhar S., Martel J.-M. Enhancing Geographical Information Systems Capabilities with Multi-Criteria Evaluation Functions. Journ. of Geographic Information and Decision Analysis. 2003. vol. 7 (2). Pp. 47–71.
11. Densham P.J., & Goodchild M.F. Spatial Decision Support Systems: a research agenda. Proc. of GIS/LIS'89/ Orlando, FL. 1989. Pp. 706–716.

12. International Energy Security Risk Index [Electronic resource] // Institute for 21st Century Energy, U.S. Chamber of Commerce. Available at: <https://www.globalenergyinstitute.org/energy-security-risk-index>. (accessed: 28.02.2020) in Russian.
13. Jankowski P. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision making methods. Intern. Journ. of Geographical Information Systems. 1995. № 9. Pp. 251–273.
14. Malczewski J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. Progress in Planning. 2004. № 62. Pp. 3–65.
15. Malczewski J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. Intern. Journ. of Geographical Information Science. 2006. vol. 20 (7). Pp. 703–726.
16. Malczewski J. GIS and Multicriteria Decision Analysis. NY: Wiley & Sons Publ. 1999. 392 p.
17. Rinner C. Web-based Spatial Decision Support: Status and Research Directions. Journ. of Geographic Information and Decision Analysis. 2003. vol. 7 (1). Pp. 14–31.
18. World Energy Trilemma Index / 2019. World Energy Council in partnership with Oliver Wyman.
19. Yatsalo B., Kiker G., Kim J., Bridges T., Seager T., Gardner K., Satterstrom K., Linkov I. Application of Multi-Criteria Decision Analysis Tools for Management of Contaminated Sediments. Integrated Environmental Assessment and Management. 2007. Vol. 3 (2). Pp. 223–233.

---

**UDK 620.9**

**INDICATIVE APPROACH TO ASSESSMENT OF ENERGY SECURITY  
OF THE BELARUS REPUBLIC**

**Zorina Tatyana Genadievna,**

Doctor of Economics, Associate Professor, Head of Energy Economics  
email: tanyazorina@tut.by,

**Popov Boris Igorevich**

Ph.D. of Engineering Sciences, leading researcher  
email: bipopovby@gmail.com,

Institute of Power Engineering of NAS of Belarus  
Minsk, Republic of Belarus.

**Annotation.** This article discusses the existing methodology to energy security assessment in the Republic of Belarus, the indicative approach to energy security assessment, calculation of energy security integrated indicator of the Republic of Belarus using indicative approach.

**Key words:** energy security, assessment, methodology, indicator, integrated indicator, indicative approach.

**References**

1. Zorina T.G. Ustoychivoye energeticheskoye razvitiye Respubliki Belarus': teoriya, metodologiya, ekonomicheskij mekhanizm [Sustainable energy development of the Belarus Republic : theory, methodology, economic mechanism] / Dissertatsiya na soiskaniye stepeni doktora ekonomicheskikh nauk [Dissertation for the degree of Doctor of Economics]. Minsk. 2016 (in Russian).

2. Ioseliani A.N., Mikhalevich A.A., Nesterenko V.B., Salukvadze M.E. Metody optimizatsii parametrov teploobmennyykh apparatov [Methods for optimizing the parameters of heat exchangers at NPP]. Minsk.: Nauka i tekhnika= Minsk: Science and technology. 1981. 144p. (in Russian).
3. Konceptsiya energeticheskoy bezopasnosti Respubliki Belarus'. Postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 23 dekabrya 2015 [The concept of energy security of the Belarus Republic . Resolution of the Council of Ministers of the Belarus Republic dated December 23, 2015]. № 1084 (in Russian).
4. Modelirovaniye rynka elektricheskoy energii Belarusi v ramkakh Yedinogo ekonomicheskogo prostranstva s tsel'yu opredeleniya izmeneniya urovnya energeticheskoy bezopasnosti / Otchet o NIR po zadaniyu Energeticheskkiye sistemy, protsessy i tekhnologii 1.1.03 (zaklyuchitel'nyy) [Modeling the electricity market in Belarus within the framework of the Common Economic Space in order to determine the change in the level of energy security / Research report on the assignment Energy systems, processes and technologies 1.1.03 (final)]. RNPUP «Institut energetiki NAN Belarusi». Minsk = RNPUE "Institute of Energy of the National Academy of Sciences of Belarus" Minsk. 2018. 179 p. (in Russian).
5. Razvitiye metodologii opredeleniya urovnya i obespecheniya energeticheskoy bezopasnosti s ispol'zovaniyem deterministskikh metodov / Otchet o NIR po zadaniyu Energeticheskkiye sistemy, protsessy i tekhnologii 1.1.01 (zaklyuchitel'nyy) [Development of a methodology for determining the level and ensuring energy security using deterministic methods / Research report on the assignment Energy systems, processes and technologies 1.1.01 (final)]. RNPUP «Institut energetiki NAN Belarusi». Minsk = RNPUE "Institute of Energy of the National Academy of Sciences of Belarus" Minsk. 2018. 305 p. (in Russian).
6. Energeticheskaya bezopasnost' Rossii [Energy Security of Russia ] / V.V. Bushuev, N.I. Voropaj, A.M. Mastepanov i dr. Novosibirsk: Nauka, Sib. izd. firma RAN = Novosibirsk: Science, Siberian publisher firm of RAS. 1998. 306 p. (in Russian).
7. Energeticheskiy balans Respubliki Belarus' [Energy balance of the Republic of Belarus]. // Statisticheskiy sbornik Natsional'nyy statisticheskiy komitet Respubliki Belarus' = Statistical collection of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Minsk. 2019.154p. (in Russian).
8. Yatsalo B.I., Gritsyuk S.V., Didenko V.I., Mirzeabasov O.A. Sistema mnogokriterial'nogo analiza DecernsMCDA i yeye prakticheskoye primeneniye [DecernsMCDA multicriteria analysis system and its practical application] // Programmnyye produkty i sistemy. Mezhdunarodnyy nauchno-prakticheskij zhurnal= Software products and systems. International scientific and practical journal. № 2 (106). 2014. P. 73 - 84. (in Russian).
9. Carver S.J. Integrating multicriteria evaluation with geographical information systems. Intern. Journ. of Geographical Information Systems. 1991. Vol. 5 (3). Pp. 321–339.
10. Chakhar S., Martel J.-M. Enhancing Geographical Information Systems Capabilities with Multi-Criteria Evaluation Functions. Journ. of Geographic Information and Decision Analysis, 2003. Vol. 7 (2). Pp. 47–71.
11. Densham P.J., & Goodchild M.F. Spatial Decision Support Systems: a research agenda. Proc. of GIS/LIS'89. Orlando, FL. 1989. Pp. 706–716.



12. International Energy Security Risk Index [Electronic resource] // Institute for 21st Century Energy, U.S. Chamber of Commerce. Available at: <https://www.globalenergyinstitute.org/energy-security-risk-index>. (accessed: 28.02.2020).
13. Jankowski P. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision making methods. Intern. Journ. of Geographical Information Systems. 1995. № 9. Pp. 251–273.
14. Malczewski J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. Progress in Planning. 2004. № 62. Pp. 3–65.
15. Malczewski J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. Intern. Journ. of Geographical Information Science. 2006. Vol. 20 (7). Pp. 703–726.
16. Malczewski J. GIS and Multicriteria Decision Analysis. NY: Wiley & Sons Publ. 1999/ 392 p.
17. Rinner C. Web-based Spatial Decision Support: Status and Research Directions. Journ. of Geographic Information and Decision Analysis. 2003. Vol. 7 (1). Pp. 14–31.
18. World Energy Trilemma Index / 2019. World Energy Council in partnership with Oliver Wyman.
19. Yatsalo B., Kiker G., Kim J., Bridges T., Seager T., Gardner K., Satterstrom K., Linkov I. Application of Multi-Criteria Decision Analysis Tools for Management of Contaminated Sediments. Integrated Environmental Assessment and Management. 2007. Vol. 3 (2). Pp. 223–233.