

## Оценка сбалансированности функционирования иерархических социально-экономических систем

Р. А. Жуков  

*Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации  
(Тульский филиал), г. Тула, Россия  
 pluszh@mail.ru*

**Аннотация.** Сбалансированность является одним из свойств системы, а проблемы, связанные с оценкой сбалансированности, выбором индикаторов, методов и средств, позволяющих в дальнейшем принимать обоснованные управленческие решения в этой сфере, до сих пор остаются открытыми. Целью исследования является разработка и апробация методики оценки сбалансированности функционирования иерархических социально-экономических систем на примере регионов Центрального федерального округа. Гипотеза состоит в предположении о возможности эффективного применения предлагаемой методики для изучения сбалансированности сложных систем наряду с существующими методиками в рамках новой теории экономических систем. Методика заключается в формировании специальных индикаторов – коэффициента гармоничности и скорректированного индекса системной сбалансированности, которые позволяют оценить степень сбалансированности подсистем в рамках принятой пространственно-временной классификации. Первый из них учитывает разброс обобщенных (интегральных) показателей результативности, характеризующих объектную, средовую, процессную и проектную подсистемы. Второй – интенсивность взаимосвязей между ними. Интегральный показатель вычисляется посредством специальной процедуры свертки частных результатов (фактических и нормативных). Норматив определяется по модели связи между результативными и значимыми факторными признаками. Особенность предлагаемой методики заключается в возможности ее использования на различных уровнях управления. Также обеспечивается обоснованное сравнение результатов функционирования различных подсистем и элементов за счет устранения влияния единиц измерения и эффекта масштаба; учитывается взаимное влияние рассматриваемых элементов и подсистем; учитываются конкретные условия их функционирования. На примере регионов Центрального федерального округа по данным за 2007–2018 гг. проведен сравнительный анализ результатов оценки сбалансированности подсистем с использованием объема валового регионального продукта по видам экономической деятельности. Сделан вывод о возможности использования наряду с индексом системной сбалансированности коэффициента гармоничности. Практические результаты исследования могут быть использованы органами управления для принятия решений и разработки мер, направленных на обеспечение устойчивого развития регионов Центрального федерального округа.

**Ключевые слова:** социально-экономическая система; иерархия; классификация; интегральный индикатор; анализ; оценка; коэффициент гармоничности; индекс системной сбалансированности.

### 1. Введение

Обеспечение долгосрочного устойчивого развития экономики является одним из приоритетов государственной

политики России. Одним из ключевых факторов, влияющих на долгосрочное устойчивое развитие российской экономики, является сбалансированность

функционирования ее подсистем и элементов, различных отраслей и секторов народного хозяйства, в том числе и на региональном мезоэкономическом уровне. Наличие диспропорций между уровнями развития сельского хозяйства, добывающей и обрабатывающей промышленности, других видов экономической деятельности не позволяют в полной мере использовать социально-экономический и природно-ресурсный потенциал субъектов РФ.

Именно несбалансированность является одной из причин «нехватки» основных факторов производства в ряде отраслей народного хозяйства, что требует от органов управления прибегать к использованию дорогостоящих «импортных» ресурсов, тем самым усугублять и так непростую сложившуюся экономическую ситуацию в большинстве сфер хозяйственной деятельности. Чтобы обеспечить «сбалансированность», нужно понимать, что именно нужно «сбалансировать», какова структура объекта исследования, каковы меры – средства измерения – необходимы, какие методики оценки будут адекватны для изучения степени и характера такой сбалансированности. Ответы на эти вопросы представляются весьма актуальными и лежат в основе представляемого исследования.

Целью исследования является разработка и апробация методики оценки сбалансированности функционирования иерархических социально-экономических систем на примере регионов Центрального федерального округа.

Гипотеза, лежащая в основе исследования, состоит в предположении о возможности эффективного применения предлагаемой методики для изучения сбалансированности как фактора устойчивости сложных систем наряду с существующими методиками в рамках новой теории экономических систем.

Структура исследования включает следующие разделы: введение, степень проработанности проблемы, методология оценки, результаты исследования, заключение.

## **2. Степень проработанности проблемы**

В большинстве научных публикаций сбалансированность рассматривается как составляющая устойчивости. Термин устойчивость понимается как способность системы сохранять или возвращаться в свое первоначальное состояние или заданный режим функционирования (заданный набором некоторых характеристик – свойств системы и ожидаемых результатов) при устранении воздействия возмущающих факторов.

Под сбалансированностью экономики в классическом варианте понимают состояние экономической системы, а в более широком смысле социально-экономической системы, характеризующееся уравниванием двух или большего числа разнонаправленных факторов. Однако такое понимание сбалансированности ближе к понятию «равновесие», являющемуся характеристикой состояния, когда как сбалансированность есть свойство структуры самой системы.

Социально-экономическая система представляет собой систему с множеством внутриуровневых и межуровневых связей и имеет иерархическую структуру, что предопределяет необходимость использования системного подхода к ее изучению, базирующемуся на системной парадигме J. Kornai [1] и теории систем L. Bertalanffy [2]. С этих позиций сбалансированность – соотношение взаимосвязанных частей, элементов, процессов – определяет нормальное (относительно устойчивое в смысле динамической устойчивости)

существование сложной системы – иерархической социально-экономической системы (ИСЭС).

В работе группы ученых Уральского отделения РАН [3] рассмотрены диспропорции пространственного развития Южного Урала, причиной которых стали инерционное развитие, замещение собственного производства импортом, а также перераспределение мобильных факторов производства в пользу крупнейших городских центров. Представлены модели оценки уровня сбалансированности хозяйственной деятельности региона [3].

В статье А. А. Башировой продемонстрирован целевой подход к обеспечению сбалансированности региональной системы [4]. В работе С. В. Белоусовой в рамках триадного подхода предложено рассматривать сбалансированность как соответствие результатов функционирования макро-, мезо- и микроуровней, представленных морфологической (пространственное строение), организационной (формы взаимодействия организованных элементов) и психологической (формы взаимодействия субъектов) составляющими [5].

В статье Е. А. Куклиной и О. В. Стариковой приведен анализ видов устойчивости и критериев их оценки [6]. Для оценки устойчивости в работе Е. И. Куценко [7] использован критериальный подход, аналогичный [6].

В работе Т. А. Третьяковой и М. Ю. Осиповой использован статический и динамический подходов к изучению устойчивости региональных систем на базе частных и интегральных показателей оценки [8].

В статье Е. С. Черновой предложено использовать математические модели с управляющими параметрами для описания сбалансированного развития региональных подсистем [9].

В работе М. Kozena et al. сформирована динамическая стратегическая модель, позволяющая на основании системы показателей управлять сбалансированным развитием региона [10]. В статье В. Corona et al. приведен обзор подходов к изучению циркулярной экономики, способной обеспечить баланс между циркулирующими товарами и услугами с использованием выбранной системы индикаторов [11].

Оценка сбалансированности осуществляется посредством набора показателей (признаковых описаний объекта исследования), которые часто называют системой сбалансированных показателей. Их выбор зачастую определяется автором на основании общепризнанных и используемых в отечественной и мировой практике индикаторов, в том числе в рамках концепции устойчивого развития<sup>1</sup>. Однако показано, что в рейтинге стран, вычисленном по индикаторам, характеризующим цели устойчивого развития, относительное положение страны почти полностью зависит от выбранного метода и набора показателей [12]. Например, в статье Р. Raskin et al. в рамках такой концепции проведена сценарная оценка сбалансированного (в смысле устойчивого) развития цивилизации с использованием 47 показателей, объединенных в 11 групп [13]. В работе китайских исследователей использованы 22 индикатора, объединенных в экономическую, социальную и экологическую группы [14]. Набор из 24 базовых и вспомогательных показателей, включенных в систему процедур оценки макроэкономического дисбаланса по данным 17 стран Центральной и Восточной Европы, приведен в [15].

<sup>1</sup>Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года от 25 сентября 2015 года [Электронный ресурс]. URL: [http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1\\_ru.pdf](http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf) (дата обращения: 20.06.2020).

Системная сбалансированность рассмотрена с позиции ресурсоориентированного подхода на основании оценки доли влияния экстенсивных и интенсивных факторов [16]. При этом каждая подсистема охарактеризована только одним показателем, выраженным в абсолютном значении. Оценка устойчивости развития торговли на основе методологии циклической корректировки баланса товаров и услуг представлена в [17]. В совместной работе китайских и австралийских исследователей проведена оценка сбалансированности экономики Китая на основе анализа проводимой на протяжении 10 лет государственной политики сдерживания инвестиций с целью увеличения доли потребления ВВП [18]. Показано, что потребление очень чувствительно к изменению инвестиций и может вызвать дисбаланс в экономике.

Для оценки подсистем используют и интегральные показатели, а процедура их конструирования обычно сводится к свертке частных показателей, каждый из которых выступает в качестве индикатора результата функционирования одного из элементов системы. Используются различные преобразования, а наиболее часто встречающимся является расчет средних различных типов<sup>2</sup>. Так, для оценки сбалансированности использованы групповые индексы, рассчитанные по стандартизованным признакам как их среднеарифметическое [19]. В качестве других процедур формирования интегральных оценок можно привести следующие: вычисление долей подсистем в общей системе [20], измерение взаимодействия через

индикатор координации взаимосвязей [21], формирование динамического норматива [22] и т. п. При использовании таких алгоритмов не учитываются конкретные условия функционирования объекта исследования и их влияние на результативные показатели оценки, что не позволяет обоснованно сравнивать сходные системы.

Решением проблемы оценки сбалансированности функционирования подсистем и элементов с учетом характерных для них условий может быть использование моделей при конструировании соответствующих индикаторов. Однако такие модели применяются не столько для оценки сбалансированности, сколько для разработки прогнозов или сценарных вариантов развития. При этом используют их различные функциональные формы в виде производственных функций, по которым вычисляют результаты функционирования подсистем, выступающих в качестве показателей оценки сбалансированности системы. В работе J. Dreyer и P. Schmid представлена линейная модель для оценки эффектов экономического роста стран, вступивших в Евросоюз [23].

Аналогичная модель использована в [24], где исследована возможность долгосрочной взаимосвязи между индексом экономической свободы, прямыми иностранными инвестициями и компонентами добавленной стоимости ВВП в тридцати странах Восточной, Центральной и Западной Европы. Индекс экономической свободы выступает в качестве косвенного показателя сбалансированности экономики. Также используют квадратичные модели [25]; логарифмические модели [26]; транслогарифмические модели, построенные на базе функции Кобба – Дугласа [27]; степенные мультипликативные модели, в том числе с учетом инновационной составляющей [28].

<sup>2</sup>Mishra S., Nathan H. S. K. Measuring Human Development Index: The old, the new and the elegant // Indira Gandhi Institute of Development Research. Mumbai, October, 2013 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.igidr.ac.in/pdf/publication/WP-2013-020.pdf>

Таким образом, особенности различных подходов к оценке сбалансированности функционирования сложных систем, отраженные в научной литературе, обусловлены следующими аспектами.

1. Цель, объект и предмет исследования. Их специфика предопределяет необходимость идентификации и формализованного описания элементов, подсистем и их взаимосвязей в структуре объекта исследования, классификации его элементов. При всем многообразии классификаций, по сути, такая процедура объединения элементов в классы дает возможность взглянуть на одну и ту же сложную систему (один и тот же процесс или явление) с той или иной точки зрения и воспринять совокупность элементов как некоторую подсистему, функционирующую, опять же с точки зрения исследователя, как единое целое. Иными словами, многообразие классификаций определяется целями и взглядами авторов, принимающих либо традиционную, либо собственную классификацию. При этом классификация должна быть понятна другим исследователям.

2. Многообразие классификаций и целей проводимых исследований порождают множество как частных, так и интегральных индикаторов оценки. На региональном уровне чаще всего оценивают валовой региональный продукт (ВРП), его составляющие или производные от него.

3. Термин сбалансированность может пониматься и как «равновесие», и как «свойство» структуры системы. Рассматриваются различные виды сбалансированности, например: товарно-денежная, межотраслевая, территориальная, системная. «Системная сбалансированность является более общей фундаментальной и объемной характеристикой, чем ее частные случаи» [29, с. 310].

В рамках настоящего исследования оценка сбалансированности функционирования иерархических социально-экономических систем осуществляется на базе активно развивающейся сейчас новой теории экономических систем. Сбалансированность рассматривается через призму взаимоувязанных подсистем четырех типов: объектной, средовой, процессной и проектной, а ее количественная оценка осуществляется посредством определения интенсивности связей между этими подсистемами, образующих тетраду – устойчивую структуру кольцевидной формы [30].

Интенсивности связей для экономической системы могут быть рассчитаны по результатам функционирования соответствующих подсистем тетрады [31]. Для оценки сбалансированности функционирования системы в рамках принятой теории используется индекс системной сбалансированности (далее индекс сбалансированности). В отличие от других индикаторов индекс сбалансированности учитывает не результаты функционирования подсистем в явном виде, а интенсивности их взаимодействия. Примером такой оценки на региональном уровне может служить расчет индексов сбалансированности с использованием объемов валового регионального продукта (ВРП) каждой подсистемы. Однако использование ВРП в абсолютном выражении не совсем корректно, поскольку, во-первых, не учитываются конкретные условия функционирования объекта исследования и, во-вторых, результаты могут измеряться в различных единицах измерения, что затрудняет сравнительный анализ рассматриваемых подсистем.

Другой пример. Если гипотетически рассматривать процессную подсистему – транспорт и связь (доставляет рабочих на добывающее предприятие) – и объектную подсистему (добывающее

предприятие), то стоимость перевозки пассажиров существенно меньше, чем стоимость продукта, полученного на предприятии. Однако при очевидном дисбалансе результатов система на данном участке тетрады будет сбалансирована, поскольку, в соответствии со свойством самоорганизации и стремлением к равновесию, объем перевозок через некоторое время составит ровно столько, сколько необходимо для доставки рабочих на предприятие.

Третьим примером, иллюстрирующим необходимость «отступления» от абсолютных характеристик, может служить оценка разделенной на тетрады региональной социально-экономической системы и использование таких результативных признаков, как уровень образования, ожидаемая продолжительность жизни, наличие дорог, объем ВРП и т. п.

В связи с этим в рамках исследования предложено для оценки сбалансированности функционирования иерархической социально-экономической системы использовать, наряду с соответствующим индексом сбалансированности, коэффициент гармоничности, который учитывает разброс обобщенных (интегральных) показателей результативности [32], характеризующих подсистемы четырех типов.

### **3. Методика оценки сбалансированности функционирования подсистем с использованием коэффициента гармоничности и индекса сбалансированности**

Будем рассматривать элементы иерархической социально-экономической системы, совокупность которых, образующих множество  $\langle H, R \rangle$  (иерархия), разделена на уровни (государство, округ, регион (субъект РФ), муниципальное образование, предприятие)  $L_p$ . Каждый элемент уровня подчинен элементу

более высокого уровня, причем несколько элементов одного уровня могут быть подчинены одному и тому же элементу более высокого уровня (например, совокупность регионов, которые входят в состав Центрального федерального округа (ЦФО)). На каждом уровне элементы можно сгруппировать по классам  $s_q \in S$  ( $q$  – номер класса). Совокупность элементов, образующих множество одного класса, представляет собой подсистему определенного типа уровня  $L_p$ . В качестве примера можно привести подсистемы объектного, среднего, процессного и проектного типа для отдельно выделенного  $v_p$ -го региона ( $v_p = 1, \dots, V_p$ ,  $V_p$  – число субъектов, входящих в состав округа).

Таким образом, каждый из элементов ИСЭС можно занумеровать с помощью четырех индексов и обозначить как  $k_{p,(p-1),v_p,s_q} \in L_{p,(p-1),s_q}$ . Здесь  $p$  – уровень ИСЭС;  $(p-1)$  – составной индекс, идентифицирующий элемент более высокого уровня, которому подчинены все элементы подмножества  $L_{p,(p-1)}$ , характеризующего совокупность элементов, подчиненных одному и тому же элементу уровня  $(p-1)$ ;  $L_{p,(p-1),s_q}$  – множество элементов, принадлежащих одному классу.

Каждый из элементов уровня  $L_p$  будем характеризовать четырьмя признаками:

- 1) результативный признак  $y_{p,(p-1),v_p,s_q}(t)$  – результат функционирования элемента в период времени  $t$ ,  $t = 1, \dots, T$ ,  $T$  – число периодов, его значения будем называть фактическими;
- 2) факторы состояния  $x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}(t)$  – условия функционирования элемента,  $j = 1, \dots, J$ ;  $J$  – число факторов состояния;
- 3) факторы воздействия  $z_{p,(p-1),v_p,s_q,u}(t)$  – признаки, характеризующие управляющие воздействия на элемент;  $u = 1, \dots, U$ ;  $U$  – число факторов воздействия;

4) нормативный результивный признак  $\widehat{y}_{p,(p-1),v_p,s_q}(t)$  нормативный (ожидаемый) результат функционирования элемента.

При этом существует неслучайная функция  $f_{p,(p-1)}$ , которая для каждого из элементов каждому значению  $x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}(t)$  и  $z_{p,(p-1),v_p,s_q,m}(t)$  ставит в соответствие  $\widehat{y}_{p,(p-1),v_p,s_q}(t)$ .

$$\widehat{y}_{p,(p-1),v_p,s_q}(t) = f_{p,(p-1)}(x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}(t), z_{p,(p-1),v_p,s_q,m}(t)). \quad (1)$$

Предположим, что признаковые описания элементов являются случайными величинами. Тогда связь между фактическим и нормативным результивными признаками можно представить как:

$$y_{p,(p-1),s_q} = \widehat{y}_{p,(p-1),s_q} + \varepsilon, \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  – стохастическая случайная составляющая, которую в первом приближении будем считать нормальной случайной величиной.

Для оценки результатов функционирования элемента ИСЭС будем использовать частный показатель результивности  $\xi_{p,(p-1),s_q}$ , значения которого

для  $v_p$ -го элемента в период  $t$  определяются по формуле:

$$\xi_{p,(p-1),v_p,s_q}(t) = \frac{y_{p,(p-1),v_p,s_q}^0(t)}{\widehat{y}_{p,(p-1),v_p,s_q}^0(t)}, \quad (3)$$

где индекс «0» характеризует, что значения приведены к шкале от 0 до 1 после проведения процедуры стандартизации (случайная величина будет иметь нулевое математическое ожидание и единичную дисперсию, такие случайные величины будем обозначать индексом «\*»). Эти процедуры позволяют устранить влияние масштаба и используемых единиц измерения.

Для оценки результата функционирования  $v_p$ -й подсистемы класса  $s_q$ ,

в состав которой входят  $I$  элементов  $k_{p,i,v_p,s_q} \in L_{p,(p-1),s_q}$ ,  $i = 1, \dots, I$ , будем использовать обобщенный (интегральный) показатель результивности. Его значения можно определить по формуле:

$$\xi_{p,v_p,s_q}(t) = \frac{\sqrt{\sum_{i_1=1}^I \sum_{i_2=1}^I r_{p,i_1,i_2,s_q} \cdot y_{p,i_1,v_p,s_q}^0(t) \cdot y_{p,i_2,v_p,s_q}^0(t)}}{\sqrt{\sum_{i_1=1}^I \sum_{i_2=1}^I \widehat{r}_{p,i_1,i_2,s_q} \cdot \widehat{y}_{p,i_1,v_p,s_q}^0(t) \cdot \widehat{y}_{p,i_2,v_p,s_q}^0(t)}}. \quad (4)$$

где  $r_{p,i_1,i_2,s_q}$ ,  $\widehat{r}_{p,i_1,i_2,s_q}$  – соответствующие значения парного коэффициента корреляции Пирсона между  $i_1$ -ми  $y_{p,i_1,s_q}^0$ ,  $\widehat{y}_{p,i_1,s_q}^0$  и  $i_2$ -ми  $y_{p,i_2,s_q}^0$ ,  $\widehat{y}_{p,i_2,s_q}^0$  переменными – признаковыми описаниями ( $i_1, i_2=1, \dots, I$ ).

Значение, стоящее в знаменателе выражения (3), есть приведенное к интервалу  $[0;1]$  значение функции  $\widehat{y}_{p,(p-1),s_q}^*$ , записанной для стандартизованных переменных и преобразованной из  $\widehat{y}_{p,(p-1),s_q}$  посредством процедуры стандартизации, которая является ни чем иным, как производственной функцией (ПФ). Тогда стоящее в знаменателе значение выражения (4) является значением, полученным из преобразованной комбинации ПФ, есть агрегированная ПФ. ПФ и агрегированная ПФ есть модели связи между результивными признаками и факторами состояния и воздействия (признаковыми описаниями элементов подсистемы рассматриваемого уровня иерархии), коэффициенты которой определяются с помощью факторного анализа зависимостей, что позволяет учесть конкретные условия функционирования объектов исследования. Эти модели описывают внутриуровневые связи иерархической социально-экономической системы.

Для оценки сбалансированности функционирования подсистем введем индикатор – коэффициент гармоничности, – который можно определить как:

$$H_{Ap} = 1 - \frac{\sigma(\xi_{p,i})}{M(\xi_{p,i})}, \quad (5)$$

где  $M(\xi_{p,i})$ , – математические ожидания,  $\sigma(\xi_{p,i})$ , – среднеквадратические отклонения,  $i = 1, \dots, Q$ ,  $Q$  – число интегральных показателей результативности, соответствующих числу классов).

Чем ближе  $H_{Ap}$  к единице, тем более сбалансированно (гармонично) функционирование рассматриваемого объекта исследования (региона).

*Замечание.* Коэффициент гармоничности не показывает специализацию совокупности элементов (например, для отдельно выделенного региона рассматривается гармоничность подсистем объектного, средового, процессного и проектного типов), а характеризует степень соответствия всех индикаторов нормативным (ожидаемым) значениям при конкретных условиях функционирования объекта исследования, а также их соответствие друг другу. В этом заключается его преимущество перед другими подобными индикаторами, которые конструируются посредством проведения процедуры рейтингования и придания значений весовым коэффициентам для частных показателей на основе экспертных оценок, что увеличивает субъективность оценок и уменьшает их обоснованность.

Также для оценки системной сбалансированности можно использовать соответствующий индикатор – индекс системной сбалансированности [35]:

$$I = \frac{1}{\left(\frac{a}{b} + \frac{b}{a} + \frac{a}{c} + \frac{c}{a} + \frac{a}{d} + \frac{d}{a} + \frac{b}{c} + \frac{c}{b} + \frac{d}{b} + \frac{b}{d} + \frac{c}{d} + \frac{d}{c} - 1\right)}, \quad (5)$$

где  $a, b, c, d$  – интенсивности взаимодействия пар подсистем соответственно: «объект – среда», «среда – процесс», «процесс – проект» и «проект – объект».

Эти интенсивности вычисляются геометрически на основании соотношений результатов функционирования подсистем четырех типов. В качестве примера таких результатов можно привести соответствующие объемы валового регионального продукта (ВРП) подсистем, элементами которых являются совокупности хозяйствующих субъектов, осуществляющих свою деятельность в соответствии с общероссийским классификатором видов экономической деятельности (ОКВЭД), отнесенных в соответствии с пространственно-временной классификацией к одной из 4 типов подсистем. Если в качестве результатов функционирования выбрать соответствующие интегральные показатели результативности взамен ВРП, взятого в «чистом» виде, то можно получить индекс сбалансированности, который лишен влияния масштаба и единиц измерения, а также содержит в себе учет конкретных условий, обеспечивающих деятельность каждой из подсистем, а также учитывает взаимное влияние элементов, образующих эту подсистему.

Отличительными особенностями предложенной методики, составляющими научную новизну исследования, являются следующие аспекты.

1. Сконструированные индикаторы оценки обладают свойствами безразмерности, нормированности, что обеспечивает устранение влияния единиц измерения и эффекта масштаба, а также обеспечивает возможность обоснованного сравнения результатов функционирования элементов и подсистем, действующих в различных условиях. Удобство количественного выражения показателей (больше или меньше единицы) позволяет

быстро оценить удовлетворительность результатов функционирования объекта исследования.

2. Обобщенные индикаторы позволяют учесть взаимное влияние элементов, входящих в состав изучаемой подсистемы и системы в целом.

3. Введенный коэффициент гармоничности и скорректированный индекс сбалансированности обладают теми же свойствами, что и частные, и интегральные показатели, с отличием в изменении его значений, не превышающих единицы.

Для обоснования возможного использования коэффициента гармоничности наряду с индексом сбалансированности необходимо провести сравнительный анализ результатов оценки функционирования иерархических социально-экономических систем, например, на региональном уровне.

#### 4. Результаты апробации методики

В качестве информационной базы исследования выступили статистические данные для регионов ЦФО (без учета г. Москвы) Федеральной службы государственной статистики РФ за 2007–2018 годы<sup>3</sup>.

Для формирования производственных функций были выбраны модели степенного мультипликативного вида, аналогичные функциональной форме модели Кобба – Дугласа:

$$\hat{y}_{i,s_q} = C_{i,0} \cdot \prod_{j=1}^J x_{i,s_q,j}^{C_{i,j}} \cdot \prod_{s=1}^S z_{i,s_q,s}^{D_{i,s}} \quad (6)$$

и их линеаризованные и стандартизованные представления, используемые при вычислении частных и интегральных показателей результативности представления:

<sup>3</sup> Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 20.12.2019).

$$(\ln(\hat{y}_{i,s_q}))^* = C_{i,j}^* \cdot \sum_{j=1}^J (\ln(x_{i,s_q,j}))^* + D_{i,s}^* \cdot \sum_{s=1}^S (\ln(z_{i,s_q,s}))^* \quad (7)$$

Здесь  $i$  – номер результативного признака (в данном случае номер элемента верхнего уровня), характеризующего функционирование элементов.

Такой выбор был обусловлен тем, что использование таких моделей на мезоуровне, к которому относятся регионы, показало их хорошую применимость. Поскольку в рамках исследования рассматриваются только регионы ЦФО, то допустимо для удобства использовать двухиндексную для результативных признаков и трех индексную для факторных признаков нумерацию (номер элемента верхнего уровня – раздел ОКВЭД, класс (тип) подсистемы, номер фактора состояния или воздействия).

В качестве результатов функционирования были выбраны объемы ВРП по ОКВЭД, скорректированные на уровень инфляции и приведенные к уровню 2007 г. Вследствие отсутствия данных до 2009 г. для Раздела J. (Финансовая деятельность) при построении моделей использовался период 2009–2018 гг. «Раздел В. Рыболовство, рыбоводство» не был включен в анализ вследствие его малой доли (менее 0,1%) в структуре ВРП для регионов ЦФО.

Выбор факторов состояния и воздействия был осуществлен на базе ранее проведенных исследований для периодов 2007–2015 гг. [34], а классификация совокупности субъектов хозяйствования по ОКВЭД по типам систем осуществлена в соответствии с [29] и представлена в табл. 1.

Описание переменных и спецификации моделей отражены в *Приложении*.

Проведена оценка сбалансированности четырех типов подсистем

Таблица 1. Пространственно-временная классификация субъектов экономики

Table 1. Space-time classification of economic subjects

№ п/п	Классы	Разделы ОКВЭД
1	2	3
1	Объект	A(A), B(A), C(B), D(C), E(D, E)
2	Среда	H(I), K(L, M, N), L(O), N(Q), O(R, S)
3	Процесс	I(H, J), M(P)
4	Проект	F(F), G(G), J(K)

*Примечание:* Составлено по [31], в скобках указана классификация по ОКВЭД 2, номер характеризует индекс класса.

по формулам (4) и (5), где в качестве результативных признаков были выбраны вычисленные по формуле (4) интегральные показатели результативности, а также был вычислен индекс сбалансированности по объему ВРП, представленному в абсолютном выражении.

Визуализация результатов в 2012–2018 гг. проиллюстрирована на рис. 1.

На рисунке видно, что значения индекса сбалансированности ( $a$ ) в большинстве своем «покрываются» значениями коэффициента гармоничности ( $b$ ) и индекса сбалансированности ( $c$ ), составляющие которых вычислены с использованием интегральных показателей результативности, за исключением Брянской (2012), Ивановской (2014–2017), Костромской (2012, 2013, 2015), Орловской (2012–2014) и Ярославской (2018). При этом форм линий ( $b$ ) и ( $c$ ) визуально сходна.

На рис. 2 представлена рейтинговая оценка регионов ЦФО по трем типам индикаторов.

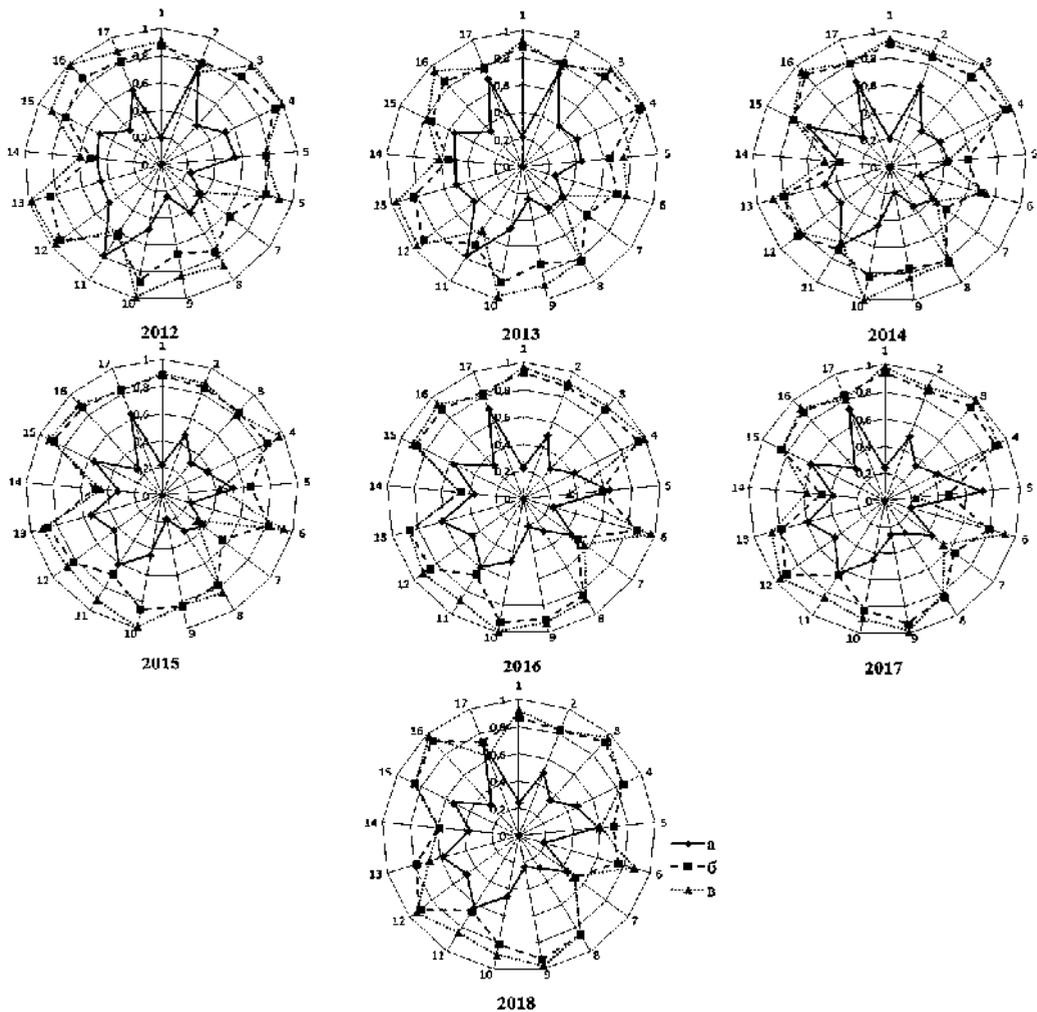
На основании ранжирования областей по соответствующим значениям индикаторов (от большего к меньшему) и сопоставления мест, присвоенных областям по каждому из них, можно увидеть сильные различия между рейтингом по ( $a$ – $c$ ) и незначительные различия

между ( $b$ ) и ( $c$ ), за исключением некоторых областей и периодов (табл. 2).

Различия между вариантами оценок ( $a$ ) и ( $b$ ), ( $a$ ) и ( $c$ ) объясняются тем, что ( $a$ ) вычисляется по абсолютным значениям ВРП, что не совсем корректно, и о чем упоминалось выше. К тому же такой индекс сбалансированности не учитывает конкретные условия функционирования рассматриваемых подсистем.

Различия в оценках при использовании коэффициента гармоничности и индекса сбалансированности, рассчитываемых с использованием интегральных показателей результативности, можно объяснить следующими причинами. Коэффициент гармоничности не учитывает взаимосвязи между подсистемами, которые можно оценить с помощью, например, коэффициентов корреляции (табл. 3).

Из данных табл. 3 видно, что имеется существенная статистическая связь между индикаторами оценки объектной и средовой, объектной и проектной, средовой и процессной подсистемами. Коэффициент гармоничности учитывает разброс между результатами функционирования подсистем относительно друг друга, тогда как индекс сбалансированности оценивает интенсивность

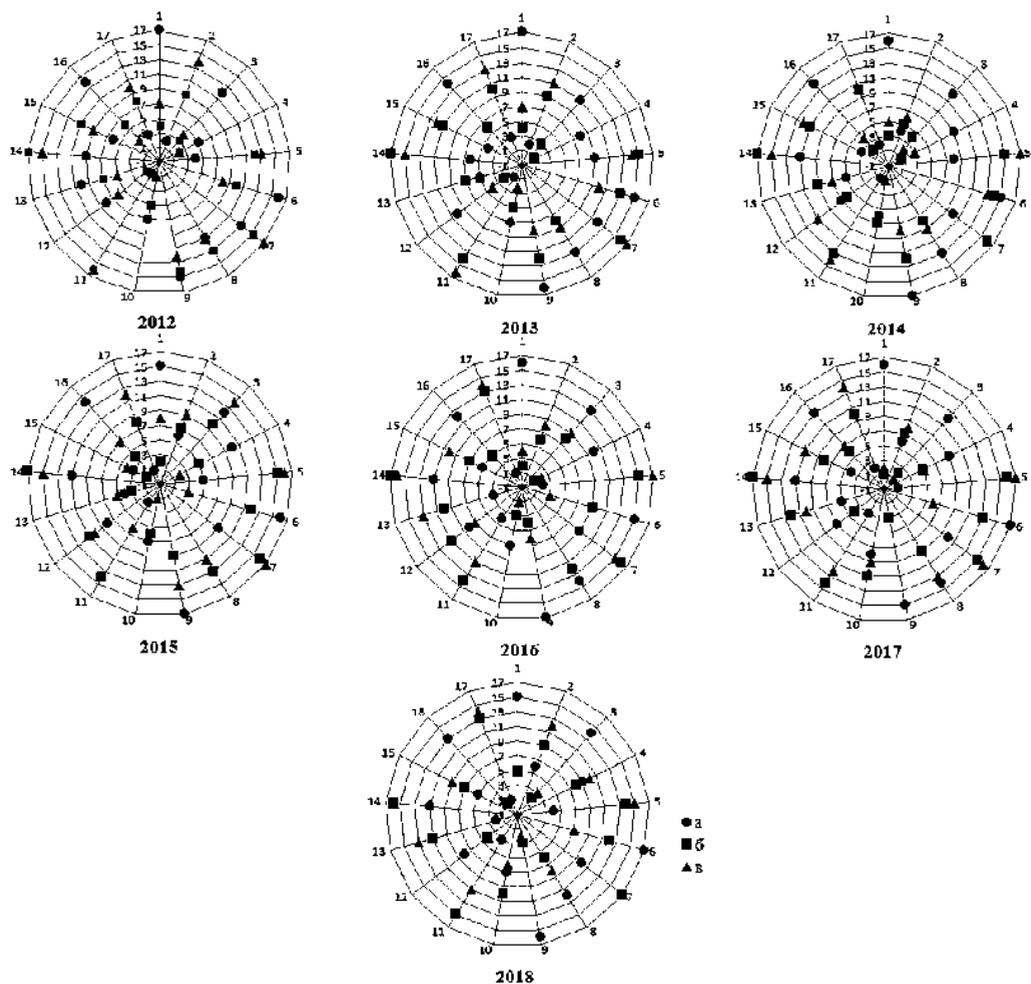


**Рис. 1.** Визуализация результата оценки системной сбалансированности с помощью коэффициента гармоничности и индекса сбалансированности в 2012–2018 гг. для регионов ЦФО; *a* – значение индекса сбалансированности при использовании абсолютных значений ВРП; *b* – значение коэффициента гармоничности; *c* – значение индекса сбалансированности, где в качестве результатов функционирования используются интегральные показатели; оси: 1 – Белгородская; 2 – Брянская; 3 – Владимирская; 4 – Воронежская; 5 – Ивановская; 6 – Калужская; 7 – Костромская; 8 – Курская; 9 – Липецкая, 10 – Московская; 11 – Орловская; 12 – Рязанская; 13 – Смоленская; 14 – Тамбовская; 15 – Тверская; 16 – Тульская; 17 – Ярославская области

**Fig. 1.** Visualization of the result of the system balance assessment using the coefficient of harmony and the balance index in 2012–2018 for the Central Federal district regions; *a* – the value of the balance index when using absolute values of GDP by region; *b* – the value of the harmony coefficient; *c* – the value of the balance index, where integral indicators are used as the results of functioning; axes: 1 – Belgorod; 2 – Bryansk; 3 – Vladimir; 4 – Voronezh; 5 – Ivanovo; 6 – Kaluga; 7 – Kostroma; 8 – Kursk; 9 – Lipetsk; 10 – Moscow; 11 – Oryol; 12 – Ryazan; 13 – Smolensk; 14 – Tambov; 15 – Tver; 16 – Tula; 17 – Yaroslavl regions

их взаимодействия, то есть несколько другую сторону функционирования подсистемы. В этом и заключаются

причины различий, в большинстве случаев незначительных, в значениях коэффициента гармоничности и индекса



**Рис. 2.** Визуализация результата рейтинговой оценки системной сбалансированности с помощью коэффициента гармоничности и индекса сбалансированности в 2012–2018 гг. для регионов ЦФО: *a* – место в рейтинге по значению индекса сбалансированности при использовании абсолютных значений ВРП; *b* – место в рейтинге по значению коэффициента гармоничности; *v* – место в рейтинге по значению индекса сбалансированности, где в качестве результатов функционирования используются интегральные показатели; оси: 1 – Белгородская; 2 – Брянская; 3 – Владимирская; 4 – Воронежская; 5 – Ивановская; 6 – Калужская; 7 – Костромская; 8 – Курская; 9 – Липецкая; 10 – Московская; 11 – Орловская; 12 – Рязанская; 13 – Смоленская; 14 – Тамбовская; 15 – Тверская; 16 – Тульская; 17 – Ярославская области

**Fig. 2.** Visualization of the result of rating system of balance using the ratio of the harmony and balance of the index in 2012–2018 years for the regions of the CFD: *a* – place in the ranking by the index value of the balance in absolute value GDP by region; *b* – ranked by the value of the coefficient of harmony; in one place in the ranking by the index of the balance, where the results of the operation of the integrated indicators; y-axis: 1 – Belgorod; 2 – Bryansk; 3 – Vladimir; 4 – Voronezh; 5 – Ivanovo; 6 – Kaluga; 7 – Kostroma; 8 – Kursk; 9 – Lipetsk; 10 – Moscow; 11 – Oryol; 12 – Ryazan; 13 – Smolensk; 14 – Tambov; 15 – Tver; 16 – Tula; 17 – Yaroslavl regions

сбалансированности. Таким образом, если перед исследователем поставлена задача оценки сбалансированности

подсистем в части их взаимодействия друг с другом (парами подсистем), то целесообразно использовать

Таблица 2. Результаты рейтинговой оценки системной сбалансированности с помощью коэффициента гармоничности и индекса сбалансированности в 2012–2018 гг. для регионов ЦФО

Table 2. Results of the rating assessment of system balance using the harmony coefficient and the balance index in 2012–2018 for the Central Federal district regions

Область	Период, год						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Белгородская	17/4/7	17/4/7	16/3/5	15/2/8	16/2/4	16/1/2	15/5/5
Брянская	2/9/14	2/9/11	4/5/6	6/7/9	6/6/8	6/7/8	6/9/12
Владимирская	12/3/4	11/3/3	12/4/2	12/10/14	13/8/9	12/2/1	14/2/3
Воронежская	5/2/2	8/1/1	9/1/3	10/5/2	10/1/2	9/5/5	9/8/10
Ивановская	4/12/13	9/15/14	8/15/17	5/15/16	2/15/17	1/16/17	4/14/15
Калужская	16/10/8	15/13/10	15/14/13	16/12/3	15/9/3	17/13/6	17/12/7
Костромская	13/15/17	12/16/17	10/16/16	9/16/17	9/16/15	10/15/16	10/17/17
Курская	11/13/11	13/8/9	13/8/9	13/13/11	14/12/12	14/9/13	12/6/8
Липецкая	15/14/12	16/12/8	17/12/8	17/9/13	17/4/6	15/3/3	16/3/2
Московская	7/5/1	7/5/2	6/7/1	7/6/1	7/3/1	8/11/9	7/10/6
Орловская	1/16/16	1/14/16	1/13/14	2/14/6	4/14/11	3/14/12	3/15/11
Рязанская	8/1/6	10/2/4	7/6/11	8/11/10	8/11/7	7/4/4	8/4/4
Смоленская	10/7/5	5/7/5	5/9/7	4/3/5	3/10/13	5/12/10	2/11/13
Тамбовская	9/17/15	6/17/15	11/17/15	11/17/15	11/17/16	11/17/15	11/16/16
Тверская	6/11/9	4/11/12	3/11/12	3/1/4	5/7/10	4/8/11	5/7/9
Тульская	14/6/3	14/6/6	14/2/4	14/4/7	12/5/5	13/6/7	13/1/1
Ярославская	3/8/10	3/10/13	2/10/10	1/8/12	1/13/14	2/10/14	1/13/14

*Примечание:* Значения: *a* – место в рейтинге по значению индекса сбалансированности при использовании абсолютных значений ВРП; *b* – место в рейтинге по значению коэффициента гармоничности; *v* – место в рейтинге по значению индекса сбалансированности, где в качестве результатов функционирования используются интегральные показатели.

*Источник:* Расчеты автора.

модифицированный индекс сбалансированности (вычисляется с использованием интегральных показателей результативности). Если же целью является изучение совокупности результатов функционирования подсистем и их соответствие нормативным (ожидаемым) значениям, то возможно использовать коэффициент гармоничности. При

комплексной оценке можно применять и первый, и второй показатель.

Возвращаясь к результатам оценки сбалансированности функционирования регионов ЦФО с использованием предложенной методики, можно судить о степени дисбалансов между подсистемами объектного, средового, процессного и проектного типов.

Таблица 3. Значения парных коэффициентов корреляции Пирсона между интегральными показателями результативности функционирования подсистем регионов ЦФО

Table 3. Values of paired Pearson correlation coefficients between integral indicators of performance of subsystems of the Central Federal district regions

Подсистемы	Подсистемы			
	Объектная	Средовая	Процессная	Проектная
Объектная	1,000	0,344 (4,743)	0,146 (1,915)	0,216 (2,870)
Средовая		1,000	-0,165 (2,167)	-0,071 (0,917)
Процессная			1,000	0,056 (0,723)
Проектная				1,000

Примечание: в скобках –  $t$ -статистика, критическое значение  $t_{kp} = 1,974$  для уровня значимости  $\alpha = 0,05$  и числа степеней свободы  $\nu = 117$  (период оценки 2012–2018 гг. для 17 регионов). Значимые коэффициенты выделены цветом.

В качестве примера рассмотрим Тульскую область, для которой коэффициент гармоничности в 2018 г. составил 0,943. По данному показателю можно сказать, что системная сбалансированность области близка к нормативному значению, однако полная сбалансированность подсистем не обеспечена. Для более детальной оценки необходимо проанализировать значения обобщенных показателей результативности, вычисленных по (4). Их значения, соответственно, равны: 1,025 (объектная подсистема); 1,005 (средовая подсистема); 0,982 (процессная подсистема) и 0,882 (проектная подсистема). Видно, что наихудший результат функционирования показала проектная подсистема, в состав которой входят совокупности хозяйствующих субъектов, осуществляющих свою деятельность по разделам ОКВЭД F (строительство), G (оптовая и розничная торговля), J (финансовая деятельность). Тогда для обеспечения большей сбалансированности (значение коэффициента гармоничности должно

быть больше) региональным органам управления необходимо принять меры, направленные на улучшение ситуации в данных сферах, за счет изменения региональной политики, элементы которой отражены в программах социально-экономического развития. Для более детальной оценки необходимо рассмотреть элементы, входящие в состав проектной системы, и проанализировать значения частных показателей результативности, вычисленных по (3). За 2018 г. их значения, соответственно, составили: 0,868 (раздел F), 0,716 (раздел G) и 1,279 (раздел J). Значение меньше единицы свидетельствует о том, что результат функционирования элемента не соответствует нормативным значениям. Минимальное значение наблюдается для раздела G.

Существенные факторы, которые влияют на результат, выделенные в рамках используемых моделей, – это стоимость основных фондов, занятость и инвестиции в основной капитал по соответствующему виду деятельности.

Это означает, что факторы используются неэффективно, а для региональных органов управления это сигнал для изменения мер по поддержке предприятий данной сферы, направленных на обновление основных фондов, кадровой политики и инвестиционной политики. Дальнейшее формирование управленческих решений может быть формализовано и сведено к задаче многокритериальной оптимизации с ограничениями. Такой подход можно использовать для каждого элемента, подсистемы, области и регионов в целом, что в конечном итоге должно привести к обеспечению сбалансированности рассматриваемых иерархических социально-экономических систем.

## 5. Заключение

В исследовании представлена методика оценки сбалансированности – одной из характеристик устойчивости и устойчивого развития – функционирования подсистем регионального уровня иерархических социально-экономических систем, который применим для различных уровней иерархии. Предложен алгоритм, позволяющий модифицировать схему расчета индекса системной сбалансированности, где в качестве составляющих могут быть использованы интегральные показатели результативности функционирования подсистем в рамках принятой классификации, а не результаты, взятые в «чистом» виде.

В отличие от ранее используемых практик, предложенные коэффициент гармоничности и скорректированный индекс системной сбалансированности позволяют учесть конкретные условия функционирования подсистем (вычисляется индивидуальный норматив на основании построения модели связи между результатами и факторами состояния и воздействия), устранить влияние

различных единиц измерения результатов (представление в стандартизованном виде) и эффекта масштаба (приведение к шкале от 0 до 1).

На примере регионов Центрального федерального округа, по данным за 2007–2018 гг. (без г. Москвы), были вычислены значения коэффициента гармоничности для подсистем четырех типов и индекса системной сбалансированности. Проведен их сравнительный анализ. В качестве моделей для расчета нормативных (ожидаемых) значений результатов функционирования элементов подсистем объектного, средового, процессного и проектного типов были использованы степенные мультипликативные функциональные формы, аналогичные форме Кобба – Дугласа.

Графическое представление значений коэффициента гармоничности и индекса сбалансированности в виде лепестковых диаграмм, где радиальные оси характеризуют соответствующий регион, показало сходность их формы. При ранжировании значений первого и второго индикатора по убыванию для большей части регионов места в соответствующем составленном рейтинге не меняются, либо меняются незначительно (1–2 балла (места)). Проанализированы причины, которые объясняют такие различия. Основным выводом является то, что в ряде случаев возможно и целесообразно использование авторского показателя, наряду с индексом, разработанным Г. Б. Клейнером в качестве индикатора для оценки сбалансированности функционирования иерархических социально-экономических систем на рассматриваемом уровне иерархии.

В целом можно сказать, что поставленная в работе цель и научная гипотеза нашли свое подтверждение, а предлагаемая методика может быть эффективно использована для решения

широкого круга задач на региональном уровне. Практические результаты исследования могут быть использованы органами управления для принятия решений и разработки мер, направленных на обеспечение устойчивого развития регионов.

Отметим, что представленная методика, на наш взгляд, имеет универсальный характер и может быть использована на различных уровнях управления, в том числе и на уровне предприятий, муниципальных образований, регионов или на уровне округа.

#### Список использованных источников

1. *Kornai J.* The System Paradigm // William Davidson Institute Working Papers Series No. 278. William Davidson Institute at the University of Michigan, 1998. 26 p.
2. *Bertalanffy L.* General System Theory – A Critical Review // General Systems. 1962. Vol. VII. Pp. 1–20.
3. Управление сбалансированным развитием территориальных систем: вопросы теории и практики : монография / под ред. А. И. Татаркина, А. Ю. Даванкова, Г. Н. Пряхина, В. В. Седова, А. Ю. Шумакова. Челябинск: ЧелГУ, 2016. 295 с.
4. *Баширова А. А.* Формирование стратегии регионального развития с позиций эколого-экономической сбалансированности // Экономические науки. 2010. № 11 (72). С. 87–90.
5. *Белюсова С. В.* Система управления общественным сектором в свете теорий управления социально-экономическими системами // Вопросы управления. 2015. № 6 (37). С. 135–146.
6. *Куклина Е. А., Старикова О. В.* Устойчивое развитие регионов России и региональная безопасность в контексте new normal // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2016. Т. 15, № 3. С. 401–419. DOI: 10.15826/vestnik.2016.15.3.021.
7. *Куценко Е. И.* Основные тенденции устойчивого развития региональной социо-эколого-экономической системы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 1. С. 157–161.
8. *Третьякова Е. А., Осипова М. Ю.* Сочетание статического и динамического подходов в оценке устойчивого развития региональных социально-экономических систем // Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. 2016. № 2 (29). С. 79–92. DOI: 10.17072/1994-9960-2016-2-79-92.
9. *Чернова Е. С.* Математическое моделирование задачи устойчивого социо-эколого-экономического развития региона с применением статистических данных (на примере Кемеровской области) // Региональная экономика: теория и практика. 2017. Т. 15, № 8. С. 1552–1564. DOI: 10.24891/re.15.8.1552.
10. *Kozena M., Striteska M., Svoboda O.* Dynamic Balanced Scorecard: Model for Sustainable Regional Development // WSEAS Transactions on Environment and Development. 2011. Vol. 7, No. 7. Pp. 211–221.
11. *Corona B., Shen L., Reike D., Carreón J. R., Worrell E.* Towards sustainable development through the circular economy – A review and critical assessment on current circularity metrics // Resources, Conservation & Recycling. 2019. Vol. 151. P. 104498. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104498.
12. *Miola A., Schilts F.* Measuring sustainable development goals performance: How to monitor policy action in the 2030 Agenda implementation? // Ecological Economics. 2019. Vol. 164. P. 106373. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.106373.
13. *Raskin P. D., Electric C., Rosen R. A.* The Century Ahead: Searching for Sustainability // Sustainability. 2010. Vol. 2, Issue 8. Pp. 2626–2651. DOI: 10.3390/su2082626.
14. *Sun X., Liu X., Li F., Tao Y., Song Y.* Comprehensive evaluation of different scale cities sustainable development for economy, society, and ecological infrastructure in China // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 163. Pp. 329–337. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.002.

15. *Siranova M., Radvansky M.* Performance of the Macroeconomic Imbalance Procedure in light of historical experience in the CEE region // *Journal of Economic Policy Reform*. 2018. Vol. 21, Issue 4. Pp. 335–352. DOI: 10.1080/17487870.2017.1364642.

16. *Ендовицкий Д. А., Бабичева Н. Э., Любушин Н. П.* Использование ресурсоориентированного подхода в оценке системной сбалансированности экономики // *Экономический анализ: теория и практика*. 2018. Т. 17, № 12. С. 1298–1309. DOI: 10.24891/ea.17.12.1298.

17. *Pikhart Z.* Cyclical-Adjusted External Balance of Goods and Services in the Czech Republic // *Statistika: Statistics and Economy Journal*. 2018. Vol. 98, Issue 2. Pp. 103–112.

18. *Yutian S., Hicks J., Basu P. K., Sharma K., Bandara Y., Murphy T.* Balancing Act: Adjustment OF China's Economy TO Secure Sustainable Growth // *Singapore Economic Review*. 2017. Vol. 62, No. 5. Pp. 1097–1114. DOI: 10.1142/S0217590815501003.

19. *Третьякова Е. А., Миролобова Т. В., Мыслякова Ю. Г., Шамова Е. А.* Методический подход к комплексной оценке устойчивого развития региона в условиях экологизации экономики // *Вестник УрФУ. Серия экономика и управление*. 2018. Т. 17, № 4. С. 651–669. DOI: 10.15826/vestnik.2018.17.4.029.

20. *Палаш С. В.* Структурная сбалансированность экономики: государственные программы промышленного развития в Российской Федерации // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2017. Т. 10, № 1. С. 53–72. DOI: 10.18721/JE.10105.

21. *Zhu X., Zhao Z., Yan R.* Coupling Coordinated Development of Population, Marine Economy, and Environment System: A Case in Hainan Province, China // *Journal of Coastal Research*. 2019. Special Issue No. 98. Pp. 18–21. DOI: 10.2112/SI98–005.1.

22. *Кутышкин А. В., Орлова Д. С.* Диагностика устойчивости развития региональных социально-экономических систем на примере Ханты-Мансийского автономного округа – Югры // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*. 2019. Т. 19, № 2. С. 103–116. DOI: 10.14529/ctcr190209.

23. *Dreyer J. K., Schmid P. A.* Growth effects of EU and EZ memberships: Empirical findings from the first 15 years of the Euro // *Economic Modelling*. 2017. Vol. 67. Pp. 45–54. DOI: 10.1016/j.econmod.2016.09.007.

24. *Sayaria N., Saria R., Hammoudehb S.* The impact of value added components of GDP and FDI on economic freedom in Europe // *Economic Systems*. 2018. Vol. 42, Issue 2. Pp. 282–294. DOI: 10.1016/j.ecosys.2017.03.003.

25. *Charfeddine L., Mrabet Z.* The impact of economic development and social-political factors on ecological footprint: A panel data analysis for 15 MENA countries // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 76. Pp. 138–154. DOI: 10.1016/j.rser.2017.03.031.

26. *Lin B., Benjamin I. N.* Causal relationships between energy consumption, foreign direct investment and economic growth for MINT: Evidence from panel dynamic ordinary least square models // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 197. Pp. 708–720. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.06.152.

27. *Zhenhua W., Guangsheng Z.* Industrial policy, production efficiency improvement and the Chinese county economic growth // *Proceedings of Rijeka Faculty of Economics: Journal of Economics and Business*. 2016. Vol. 34, No. 2. Pp. 505–528. DOI: 10.18045/zbefri.2016.2.505.

28. *Макаров, В. Л., Айвазян С. А., Афанасьев М. Ю., Бахтизин А. Р., Нанавян А. М.* Моделирование развития экономики региона и эффективность пространства инноваций // *Форсайт*. 2016. Т. 10, № 3. С. 76–90. DOI: 10.17323/1995–459X.2016.3.76.90.

29. *Клейнер Г. Б., Рыбачук М. А.* Системная сбалансированность экономики России. Региональный разрез // *Экономика региона*. 2019. Т. 15, № 2. С. 309–323. DOI: 10.17059/2019-2-1.

30. *Клейнер Г. Б.* Экономика. Моделирование. Математика. Избранные труды. М.: ЦЭМИ РАН, 2016. 856 с.

31. *Клейнер Г. Б., Рыбачук М. А.* Системная сбалансированность экономики : монография. М.: Издательский дом «Научная библиотека», 2017. 320 с.

32. Жуков Р. А. Социо-эколого-экономические системы: теория и практика : монография. М.: ИНФРА-М, 2019. 186 с. DOI: 10.12737/monography\_5b7516626665a8. 43347695.

33. Клейнер Г. Б. Государство – регион – отрасль – предприятие. Каркас системной устойчивости экономики России. Ч. 2 // Экономика региона. 2015. № 3. С. 9–17. DOI: 10.17059/2015-3-1.

34. Zhukov R. A. Model of Socio-Ecological and Economic System: the Central Federal District Regions of the Russian Federation // Statistika: Statistics and Economy Journal. 2018. Vol. 98, Issue 3. Pp. 237–261.

## Приложения

Таблица А1. Описание результивных признаков (обобщенные и частные индикаторы)

Table A1. Description of performance indicators (general and partial indicators)

№	Переменная	Расшифровка
<b>Индикаторы результативности</b>		
1		<b>Объектная подсистема</b>
1.1	$\hat{Y}_{1,1}^*$	Раздел А. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство (А)
1.2	$\hat{Y}_{3,1}^*$	Раздел С. Добыча полезных ископаемых (В)
1.3	$\hat{Y}_{4,1}^*$	Раздел D. Обрабатывающие производства (С)
1.4	$\hat{Y}_{5,1}^*$	Раздел E. Производство и распределение электроэнергии, газа и воды (D, E)
2		<b>Средовая подсистема</b>
2.1	$\hat{Y}_{8,2}^*$	Раздел H. Гостиницы и рестораны (I)
2.2	$\hat{Y}_{11,2}^*$	Раздел K. Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг (L, M, N)
2.3	$\hat{Y}_{12,2}^*$	Раздел L. Государственное управление и обеспечение военной безопасности; обязательное социальное обеспечение (O)
2.4	$\hat{Y}_{14,2}^*$	Раздел N. Здравоохранение и предоставление социальных услуг (Q)
2.5	$\hat{Y}_{15,2}^*$	Раздел O. Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг (R, S)
3		<b>Процессная подсистема</b>
3.1	$\hat{Y}_{9,3}^*$	Раздел I. Транспорт и связь (H, J)
3.2	$\hat{Y}_{13,3}^*$	Раздел M. Образование (P)
4		<b>Проектная подсистема</b>
4.1	$\hat{Y}_{6,4}^*$	Раздел F. Строительство (F)
4.2	$\hat{Y}_{7,4}^*$	Раздел G. Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования (G)
4.3	$\hat{Y}_{10,4}^*$	Раздел J. Финансовая деятельность (K)

Примечание: \* стандартизованные переменные, ^ модельные (вычисленные) переменные, () ОКВЭД . 2, все стоимостные показатели скорректированы на уровень инфляции и приведены к 2007 г.; нумерация: первый индекс – раздел по ОКВЭД, второй индекс – класс (тип) подсистемы.

Таблица А2. Описание переменных (факторы состояния)

Table A2. Description of variables (state factors)

№	Переменные	Описание	№	Переменные	Описание
5	Стоимость основных фондов по полной учетной стоимости на конец года по видам экономической деятельности ( $x_{1/2}^*$ )		6.4	$x_{6,4,2}^*$	Раздел F (F)
5.1	$x_{1,1,1}^*$	Раздел A (A)	6.5	$x_{7,4,2}^*$	Раздел G (G)
5.2	$x_{3,1,1}^*$	Раздел C (B)	6.6	$x_{8,2,2}^*$	Раздел H (I)
5.3	$x_{4,1,1}^*$	Раздел D (C)	6.7	$x_{9,3,2}^*$	Раздел I (H, J)
5.4	$x_{5,1,1}^*$	Раздел E (D, E)	6.8	$x_{11,2,2}^*$	Раздел K (L, M, N)
5.5	$x_{9,3,1}^*$	Раздел I (H, J)	6.9	$x_{5,1,2}^*$	Раздел E (D, E)
5.6	$x_{6,4,1}^*$	Раздел F (F)	6.10	$x_{13,3,2}^*$	Раздел M (P)
5.7	$x_{7,4,1}^*$	Раздел G (G)	7	$x_2^*$	Среднегодовая численность населения
6	Среднегодовая численность занятых по видам экономической деятельности ( $x_2^*$ )		8	Транспорт	
6.1	$x_{1,1,2}^*$	Раздел A (A)	8.1	$x_{9,3,3}^*$	Пассажирооборот автобусов общего пользования
6.2	$x_{3,1,2}^*$	Раздел C (B)	8.2	$x_{9,3,4}^*$	Отправление пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования
6.3	$x_{4,1,2}^*$	Раздел D (C)	9	$x_{14,2,5}^*$	Заболееваемость на 1000 человек населения зарегистрировано заболеваний у пациентов с диагнозом, установленным впервые в жизни

Примечание: \* – стандартизованные переменные. в скобках – ОКВЭД. 2, все стоимостные показатели скорректированы на уровень инфляции и приведены к 2007 г.; нумерация: первый индекс – раздел по ОКВЭД, второй индекс – класс (тип) подсистемы, третий индекс – номер фактора состояния.

Таблица А3. Описание переменных (факторы воздействия)

Table A3. Description of variables (impact factors)

№	Переменные	Описание	№	Переменные	Описание
10	Инвестиции в основной капитал по видам экономической деятельности		11	Расходы консолидированного бюджета (по статьям)	
10.1	$z_{4,1,1}^*$	Раздел D (C)	11.1	$z_{15,2,3}^*$	Социальная политика
10.2	$z_{7,4,1}^*$	Раздел G (G)	11.2	$z_{13,3,3}^*$	Образование
10.3	$z_{8,2,1}^*$	Раздел H (I)			
10.4	$z_{11,2,1}^*$	Раздел K (L, M, N)			

*Примечание:* \* – стандартизованные переменные. в скобках – ОКВЭД, 2, все стоимостные показатели скорректированы на уровень инфляции и приведены к 2007 г.; нумерация: первый индекс – раздел по ОКВЭД, второй индекс – класс (тип) подсистемы, третий индекс – номер фактора воздействия.

Приложение А4. Перечень производственных функций – моделей связи для элементов (регионов ЦФО)

Объектная подсистема:

$$\ln(\hat{y}_{1,1})^* = 0,695 \cdot \ln(x_{1,1,1})^* + 0,270 \cdot \ln(x_{1,1,2})^*, (R^2 = 0,726, \nu = 201)$$

$$(0,048) \quad (0,055) \quad , \quad (A.1)$$

$$\ln(\hat{y}_{3,1,1})^* = 0,754 \cdot \ln(x_{3,1,1})^* + 0,186 \cdot \ln(x_{3,1,2})^*, (R^2 = 0,687, \nu = 188)$$

$$(0,088) \quad (0,030) \quad , \quad (A.2)$$

$$\ln(\hat{y}_{4,1})^* = 0,532 \cdot \ln(x_{4,1,1})^* + 0,221 \cdot \ln(x_{4,1,2})^* + 0,280 \cdot \ln(z_{4,1,1})^*, (R^2 = 0,945, \nu = 200)$$

$$(0,040) \quad (0,045) \quad (0,026) \quad , \quad (A.3)$$

$$\ln(\hat{y}_{5,1})^* = 0,501 \cdot \ln(x_{5,1,1})^* + 0,451 \cdot \ln(x_{5,1,2})^*, (R^2 = 0,900, \nu = 201)$$

$$(0,052) \quad (0,080) \quad , \quad (A.4)$$

Средовая подсистема:

$$\ln(\hat{y}_{8,2})^* = 0,739 \cdot \ln(x_{8,2,2})^* + 0,225 \cdot \ln(z_{8,2,1})^*, (R^2 = 0,825, \nu = 201)$$

$$(0,050) \quad (0,019) \quad , \quad (A.5)$$

$$\ln(\hat{y}_{11,2})^* = 0,327 \cdot \ln(x_{11,2,2})^* + 0,556 \cdot \ln(z_{11,2,1})^*, (R^2 = 0,805, \nu = 201)$$

$$(0,075) \quad (0,054) \quad , \quad (A.6)$$

$$\ln(\hat{y}_{12,2})^* = 0,644 \cdot \ln(x_2)^* + 0,331 \cdot \ln(z_{15,2,3})^*, (R^2 = 0,929, \nu = 201)$$

$$(0,058) \quad (0,047) \quad , \quad (A.7)$$

$$\ln(\hat{y}_{14,2})^* = 0,961 \cdot \ln(x_2)^* + 0,039 \cdot \ln(x_{14,2,5})^*, (R^2 = 0,964, \nu = 201)$$

$$(0,030) \quad (0,090) \quad , \quad (A.8)$$

$$\ln(\hat{y}_{15,2})^* = 0,433 \cdot \ln(x_2)^* + 0,510 \cdot \ln(z_{15,2,3})^*, (R^2 = 0,963, \nu = 201)$$

$$(0,101) \quad (0,082) \quad , \quad (A.9)$$

Процессная подсистема:

$$\ln(\hat{y}_{9,3})^* = 0,156 \cdot \ln(x_{9,3,1})^* + 0,526 \cdot \ln(x_{9,3,2}^*)^* + 0,177 \cdot \ln(x_{9,3,3})^* +$$

$$(0,040) \quad (0,076) \quad (0,034) \quad +$$

$$+ 0,170 \cdot \ln(x_{9,3,4})^*, (R^2 = 0,967, \nu = 199)$$

$$(0,026) \quad , \quad (A.10)$$

$$\ln(\hat{y}_{13,3})^* = 0,219 \cdot \ln(x_{13,3,2})^* + 0,767 \cdot \ln(z_{13,3,3})^*, (R^2 = 0,984, \nu = 201)$$

$$(0,054) \quad (0,038) \quad , \quad (A.11)$$

## Окончание приложения А4

## Проектная подсистема

$$\ln(\hat{y}_{6,4})^* = 0,347 \cdot (\ln(x_{6,4,1}))^* + 0,493 \cdot (\ln(x_{6,4,2}))^* , (R^2 = 0,822, \nu = 201)$$

$$(0,067) \quad (0,099) \quad , \quad (A.12)$$

$$\ln(\hat{y}_{7,4})^* = 0,525 \cdot (\ln(x_{7,4,1}))^* + 0,322 \cdot (\ln(x_{7,4,2}))^* + 0,130 \cdot (\ln(z_{7,4,1}))^* ,$$

$$(0,050) \quad (0,081) \quad (0,034)$$

$$(R^2 = 0,919, \nu = 200) \quad , \quad (A.13)$$

$$\ln(\hat{y}_{10,4})^* = 0,861 \cdot (\ln(x_2))^* , (R^2 = 0,782, \nu = 182)$$

$$(0,062) \quad , \quad (A.15)$$

*Примечание:* в скобках – стандартные ошибки, – коэффициент детерминации (для нелинеаризованной модели), – число степеней свободы.

Для всех моделей коэффициент детерминации статистически значим на уровне 1%. Для оценки моделей был использован  $F$ -тест, для оценки параметров моделей –  $t$ -тест. Все коэффициенты значимы на уровне 5%.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ****Жуков Роман Александрович**

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математики и информатики Финансового университета при Правительстве Российской Федерации (Тульский филиал), г. Тула, Россия (300012, г. Тула, ул. Оружейная, 1а); ORCID 0000–0002–2280–307X; e-mail: pluszh@mail.ru.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ**

Жуков Р. А. Оценка сбалансированности функционирования иерархических социально-экономических систем // Journal of Applied Economic Research. 2021. Т. 20, № 1. С. 84–109. DOI: 10.15826/vestnik.2021.20.1.004.

**ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ**

Дата поступления 15 ноября 2020 г.; дата поступления после рецензирования 20 декабря 2020 г.; дата принятия к печати 18 января 2021 г.

## Assessment of the Balanced Functioning of Hierarchical Socio-Economic Systems

R. A. Zhukov  

*Financial University under the Government of the Russian Federation  
(Tula Branch),  
Tula, Russia  
 pluszh@mail.ru*

**Abstract.** Balance is one of the properties of the system, and the problems associated with the assessment of balance, the choice of indicators, methods and tools that allow you to make informed management decisions in this area in the future are still open. The aim of the study is to develop and test a methodology for assessing the balance of the functioning of hierarchical socio-economic systems on the basis of the case of the regions of the Central Federal District of Russia. The hypothesis is that the proposed methodology can be effectively applied to study the balance of complex systems along with existing methods in the framework of a new theory of economic systems. The method consists in the formation of special indicators – the coefficient of harmony and the adjusted index of system balance, which allow us to assess the degree of balance of subsystems within the accepted space-time classification. The first of them takes into account the spread of generalized (integral) performance indicators that characterize the object, environment, process and project subsystems. The second one is the intensity of the relationships between them. The integral indicator is calculated by means of a special procedure for convolution of partial results (actual and normative). The norm is determined by a model of the relationship between performance and significant factor characteristics. The peculiarity of the proposed method is the possibility of its use at different levels of management. It also provides a reasonable comparison of the results of the functioning of various subsystems and elements by eliminating the influence of units of measurement and the scale effect; the mutual influence of the considered elements and subsystems is taken into account; the specific conditions of their operation are taken into account. The case of the regions of the Central Federal District is used to carry out a comparative analysis of the results of assessing the balance of subsystems using the volume of gross domestic product by region by type of economic activity for 2007–2018. The conclusion is made about the possibility of using, along with the index of system balance, the coefficient of harmony. The practical results of the study can be used by government authorities to make decisions and develop measures aimed at ensuring the sustainable development of the regions of the Central Federal District.

**Key words:** socio-economic system; hierarchy; classification; integral indicator; analysis; assessment; harmony coefficient; system balance index.

**JEL** C10, C43, P25, R11, R15.

### References

1. Kornai, J. (1998). The System Paradigm. *William Davidson Institute Working Papers Series No. 278*. William Davidson Institute at the University of Michigan, 26 p.
2. Bertalanffy, L. (1962). General System Theory – A Critical Review. *General Systems*, Vol. VII, 1–20.
3. Tatarskin, A. I., Davankov, A. Iu., Pryakhin, G. N., Sedov, V. V., Shumakov, A. Iu. (eds.) (2016). *Upravlenie sbalansirovannym razvitiem territorialnykh sistem: voprosy teo-*

*rii i praktiki [Managing the balanced development of territorial systems: Theory and practice].* Chelyabinsk, Chelyabinsk State University.

4. Bashirova, A. A. (2010). Formirovanie strategii regional'nogo razvitiia s pozitsii ekologo-ekonomicheskoi sbalansirovannosti (Formation of strategy of regional development from positions of ecologo-economic equation). *Ekonomicheskie nauki (Economic Sciences)*, No. 11 (72), 87–90.

5. Belousova, S. V. (2015). Sistema upravleniia obshchestvennym sektorom v svete teorii upravleniia sotsialno-ekonomicheskimi sistemami (Public sector management system in the light of the theories of socio-economic systems). *Voprosy upravleniia (Management Issues)*, No. 6 (37), 135–146.

6. Kuklina, E. A., Starikova, O. V. (2016). Ustoichivoe razvitie regionov Rossii i regional'naiia bezopasnost' v kontekste new normal (Sustainable Development of Regions of Russia and Regional Security in the Context of New Normal). *Vestnik UrFU. Seriya ekonomika i upravlenie (Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management)*, Vol. 15, No. 3, 401–419. DOI: 10.15826/vestnik.2016. 15.3.021.

7. Kutsenko, E. I. (2012). Osnovnye tendentsii ustoichivogo razvitiia regional'noi sotsio-ekologo-ekonomicheskoi sistemy (The main trends of sustainable development of the regional socio-ecological-economic system). *Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Orenburg State Agrarian University]*, No. 1, 157–161.

8. Tretyakova E. A., Osipova, M. Iu. (2016). Sochetanie staticheskogo i dinamicheskogo podkhodov v otsenke ustoichivogo razvitiia regional'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh sistem (Combination of static and dynamic approaches to assessing sustainable development of regional socio-economic systems). *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Ekonomika (Perm University Herald. Economics)*, No. 2 (29), 79–92. DOI: 10.17072/1994-9960-2016-2-79-92.

9. Chernova, E. S. (2017). Matematicheskoe modelirovanie zadachi ustoichivogo sotsio-ekologo-ekonomicheskogo razvitiia regiona s primeneniem statisticheskikh dannykh (na primere Kemerovskoi oblasti) (Mathematical modeling of the sustainable socio-environmental and economic development of a region using statistical data: The Kemerovo oblast case study). *Regionalnaia ekonomika: teoriia i praktika (Regional Economics: Theory and Practice)*, Vol. 15, No. 8, 1552–1564. DOI: 10.24891/re.15.8.1552.

10. Kozena, M., Striteska, M., Svoboda, O. (2011). Dynamic Balanced Scorecard: Model for Sustainable Regional Development. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, Vol. 7, No. 7, 211–221.

11. Corona, B., Shen, L., Reike, D., Carreón, J. R., Worrell, E. (2019). Towards sustainable development through the circular economy – A review and critical assessment on current circularity metrics. *Resources, Conservation & Recycling*, Vol. 151, 104498. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104498.

12. Miola, A., Schilts, F. (2019). Measuring sustainable development goals performance: How to monitor policy action in the 2030 Agenda implementation? *Ecological Economics*, Vol. 164, 106373. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.106373.

13. Raskin, P. D., Electris, C., Rosen, R. A. (2010). The Century Ahead: Searching for Sustainability. *Sustainability*, Vol. 2, Issue 8, 2626–2651. DOI: 10.3390/su2082626.

14. Sun, X., Liu, X., Li, F., Tao, Y., Song, Y. (2017). Comprehensive evaluation of different scale cities sustainable development for economy, society, and ecological infrastructure in China. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 163, 329–337. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.002.

15. Siranova, M., Radvansky, M. (2018). Performance of the Macroeconomic Imbalance Procedure in light of historical experience in the CEE region. *Journal of Economic Policy Reform*, Vol. 21, Issue 4, 335–352. DOI: 10.1080/17487870.2017. 1364642.

16. Endovitsky, D. A., Babicheva, N. E., Lyubushin, N. P. (2018). Ispolzovanie resursoorientirovannogo podkhoda v otsenke sistemnoi sbalansirovannosti ekonomiki (Using a resource-oriented approach in the assessment of the balanced functioning of the economy)

ented approach to assess the economy's system-wide balance). *Ekonomicheskii analiz: teoriia i praktika (Economic Analysis: Theory and Practice)*. Vol. 17, No. 12, 1298–1309. DOI: 10.24891/ea.17.12.1298.

17. Pikhart, Z. (2018). Cyclical-Adjusted External Balance of Goods and Services in the Czech Republic. *Statistika: Statistics and Economy Journal*, Vol. 98, Issue 2, 103–112.

18. Yutian, S., Hicks, J., Basu, P. K., Sharma, K., Bandara, Y., Murphy, T. (2017). Balancing Act: Adjustment OF China's Economy TO Secure Sustainable Growth. *Singapore Economic Review*, Vol. 62, No. 5, 1097–1114. DOI: 10.1142/S0217590815501003.

19. Tretyakova, E. A., Mirolyubova, T. V., Myslyakova, Iu. G., Shamova, E. A. (2018). Metodicheskii podkhod k kompleksnoi otsenke ustoichivogo razvitiia regiona v uslovii ekologizatsii ekonomiki (Methodical Approach to the Complex Assessment of the Sustainable Region Development in the Condition of Greening the Economy). *Vestnik UrFU. Seriya ekonomika i upravlenie Vestnik UrFU. Seriya ekonomika i upravlenie (Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management)*, Vol. 17, No. 4, 651–669. DOI: 10.15826/vestnik.2018.17.4.029.

20. Palash, S. V. (2017). Strukturnaia sbalansirovannost' ekonomiki: gosudarstvennye programmy promyshlennogo razvitiia v Rossiiskoi Federatsii (Structural balance of the economy: government programs for industrial development in the Russian Federation). *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskie nauki (St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics)*, Vol. 10, No. 1, 53–72. DOI: 10.18721/JE.10105.

21. Zhu, X., Zhao, Z., Yan, R. (2019). Coupling Coordinated Development of Population, Marine Economy, and Environment System: A Case in Hainan Province, China. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 98, 18–21. DOI: 10.2112/SI98–005.1.

22. Kutyskin, A. V., Orlova, D. S. (2019). Diagnostika ustoichivosti razvitiia regionalnykh sotsialno-ekonomicheskikh sistem na primere Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga – Iugry (Diagnostics Of The Sustainable Development Of Regional Socio-Economic Systems On The Example Of The Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra). *Vestnik Iuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Kompyuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika (Bulletin of the South Ural State University. Computer Technology, Automatic Control, Radio Electronics)*, Vol. 19, No. 2, 103–116. DOI: 10.14529/ctcr190209.

23. Dreyer, J. K., Schmid, P. A. (2017). Growth effects of EU and EZ memberships: Empirical findings from the first 15 years of the Euro. *Economic Modelling*, Vol. 67, 45–54. DOI: 10.1016/j.econmod.2016.09.007.

24. Sayaria, N., Saria, R., Hammoudehb, S. (2018). The impact of value added components of GDP and FDI on economic freedom in Europe. *Economic Systems*, Vol. 42, Issue 2, 282–294. DOI: 10.1016/j.ecosys.2017.03.003.

25. Charfeddine, L., Mrabet, Z. (2017). The impact of economic development and social-political factors on ecological footprint: A panel data analysis for 15 MENA countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 76, 138–154. DOI: 10.1016/j.rser.2017.03.031.

26. Lin, B., Benjamin, I. N. (2018). Causal relationships between energy consumption, foreign direct investment and economic growth for MINT: Evidence from panel dynamic ordinary least square models. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 197, 708–720. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.06.152.

27. Zhenhua, W., Guangsheng, Z. (2016). Industrial policy, production efficiency improvement and the Chinese county economic growth. *Proceedings of Rijeka Faculty of Economics: Journal of Economics and Business*, Vol. 34, No. 2, 505–528. DOI: 10.18045/zbefri.2016.2.505.

28. Makarov, V. L., Aivazian, S. A., Afanasyev, M. Iu., Bakhtizin, A. R., Nanavian, A. M. (2016). Modelirovanie razvitiia ekonomiki regiona i effektivnost prostranstva innovatsii (Modeling the development of regional economy and an innovation space efficiency foresight). *Foresight*, Vol. 10, No. 3, 76–90. DOI: 10.17323/1995–459X.2016.3.76.90.

29. Kleiner, G. B., Rybachuk, M. A. (2019). Sistemnaia sbalansirovannost ekonomiki Rossii. Regionalnyi razrez (System Balance of the Russian Economy: Regional Perspective). *Ekonomika regiona (Economy of Region)*, Vol. 15, No. 2, 309–323. DOI: 10.17059/2019-2-1
30. Kleiner, G. B. (2016). *Ekonomika. Modelirovanie. Matematika. Izbrannye Trudy [Economics. Modelling. Mathematics. Selected Works]*. Moscow, TsEMI RAN.
31. Kleiner, G. B., Rybachuk, M. A. (2017). *Sistemnaia sbalansirovannost' ekonomiki [System balance of an economy]*. Moscow, Nauchnaya Biblioteka.
32. Zhukov, R. A. (2019). *Sotsio-ekologo-ekonomicheskie sistemy: teoriia i praktika [Socio-economic systems: Theory and practice]*. Moscow, INFRA-M. DOI: 10.12737/monography\_5b7516626665a8.43347695.
33. Kleiner, G. B. (2015). Gosudarstvo – region – otrasl' – predpriiatie. Karkas sistemnoi ustoychivosti ekonomiki Rossii. Ch. 2 (State – Region – Field – Enterprise: Framework of Economics System Stability of Russia Part 2). *Ekonomika regiona (Economy of Region)*, No. 3, 9–17. DOI: 10.17059/2015-3-1.
34. Zhukov, R. A. (2018). Model of Socio-Ecological and Economic System: the Central Federal District Regions of the Russian Federation. *Statistika: Statistics and Economy Journal*, Vol. 98, Issue 3, 237–261.

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

### Zhukov Roman Aleksandrovich

Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor, Department of Mathematics and Informatics, Financial University under the Government of the Russian Federation (Tula Branch), Tula, Russia (300012, Tula, Oruzheynaya Street, 1-a); ORCID 0000–0002–2280–307X; e-mail: pluszh@mail.ru.

## FOR CITATION

Zhukov R. A. Assessment of the Balanced Functioning of Hierarchical Socio-Economic Systems. *Journal of Applied Economic Research*, 2021, Vol. 20, No. 1, 84–109. DOI: 10.15826/vestnik.2021.20.1.004.

## ARTICLE INFO

Received November 15, 2020; Revised December 20, 2020; Accepted January 18, 2021.

