

Подход к оценке функционирования иерархических социально-экономических систем и принятию решений на базе программного комплекса «ЭФРА»

Р.А. Жуков 

E-mail: pluszh@mail.ru

Финансовый университет при Правительстве РФ, Тульский филиал
Адрес: 300012, г. Тула, ул. Оружейная, д. 1-а

Аннотация

К числу современных моделей для оценки сложных систем относят модели иерархических социально-экономических систем (ИСЭС), реализованных на базе программных комплексов (экспертные системы и системы поддержки принятия решений) и используемых на региональном и муниципальном уровнях управления. Как правило, такие системы имеют функциональность аналитики и формирования сценарных вариантов развития объектов исследования, но не дают количественно выраженных значений факторов состояния и воздействия, при которых рассматриваемая сложная система может прийти в заданное состояние. При этом вопрос определения такого заданного состояния, связанного с построением нормативов (ожидаемых значений) для элементов, классов или уровней ИСЭС, до сих пор остается открытым. В некоторых случаях для принятия обоснованного решения достаточно получить укрупненные количественные оценки и рекомендации, касающиеся дальнейшего функционирования объекта исследования. В статье представлен подход, позволяющий оценивать особенности функционирования иерархических социально-экономических систем и давать экспертные заключения для принятия управленческих решений, реализованный на базе программного комплекса «ЭФРА». Алгоритм включает этапы анализа и синтеза – этапы базовой методики системного анализа. Отличием предложенного подхода является возможность учета конкретных условий состояния и воздействия рассматриваемых сложных систем, что позволяет построить для них собственный норматив, а используемые процедуры стандартизации и нормализации (приведение к шкале от 0 до 1) позволяют избежать влияния различных единиц измерения результатов функционирования и эффекта масштаба. На примере регионов Центрального федерального округа по данным за 2014–2017 гг. получены оценки использования информационно-телекоммуникационных технологий населением, а для Тульской области решена задача оптимизации, на основании которой предложены направления, связанные с повышением готовности региона к цифровизации.

Ключевые слова: иерархическая социально-экономическая система; моделирование; оценка; принятие решений; программный комплекс.

Цитирование: Жуков Р.А. Подход к оценке функционирования иерархических социально-экономических систем и принятию решений на базе программного комплекса «ЭФРА» // Бизнес-информатика. 2020. Т. 14. № 3. С. 82–95. DOI: [10.17323/2587-814X.2020.3.82.95](https://doi.org/10.17323/2587-814X.2020.3.82.95)

Введение

В настоящее время в управленческой деятельности все чаще используются программные средства, обеспечивающие принятие обоснованных решений, в том числе на региональном и муниципальном уровнях. При этом большинство систем (экспертных систем и систем поддержки принятия решений – СППР) на базе встроенных моделей, помимо аналитики, позволяют формировать сценарные варианты развития объекта исследования, но не предлагают количественно выраженные рекомендации, направленные на оптимизацию функционирования объекта исследования, в том числе иерархической социально-экономической системы (ИСЭС), в соответствии с поставленной целью и решаемыми задачами.

В настоящее время существуют более ста программных платформ для моделирования социально-экономических процессов, а также отдельные, разработанные для конкретной цели программные комплексы, в том числе для ИСЭС регионального уровня.

Так, с 1975 по 1990 годы под руководством В.И. Гурмана был разработан комплекс моделей «Регион» [1]. В их основе лежат математические модели, описывающие регион на трех уровнях иерархии и рассматривающие его как открытую систему, в виде совокупности социальной, природной и экономической подсистем. В качестве инструмента регионального моделирования хорошо известен программный комплекс DSEEmodel 1.0 (Dynamic Socio–Ecological–Economic model) [2].

На протяжении последних двадцати лет в ЦЭМИ РАН ведутся исследования, связанные с моделированием сложных систем макро- [3, 4], мезо- [5, 6] и микроуровней [7] на базе систем компьютерного моделирования, включающих эконометрические модели и нейронные сети, вычислимые модели общего равновесия (CGE модели), динамические стохастические модели общего равновесия (DSGE модели) и агент-ориентированные модели. Среди моделей CGE известны: модель российской экономики «RUSEC», «Россия: Центр – Федеральные округа», «RUSEC – естественные монополии», «RUSEC – Газпром», «Социальная Россия», модель социально-экономической системы России со встроенными нейронными сетями. Агентные моде-

ли представлены такими продуктами, как агентная модель России, региональная модель «Губернатор», модель Евразии, модель Роскосмоса и др.¹

На базе ситуационных центров субъектов РФ разрабатываются программные комплексы на основе агент-ориентированных моделей «умных городов» [8].

На микроуровне (уровне предприятий) успешно используются информационные системы (ИС) для решения оптимизационных задач: в производственных компаниях, логистических и проектных организациях (в том числе СППР на платформах SAP, Oracle и IBM), а также интеллектуальные информационные системы (ИИС), классификация которых представлена в работе [9]. Ряд ИС используется на федеральном и региональном уровнях. Например, в Министерстве экономического развития РФ и его подведомственных организациях насчитывается порядка 25 внешних и 11 внутренних ИС, обеспечивающих поддержку управленческих решений². Большинство из них связано с организацией документооборота, обеспечением справочно-правовой информацией и предоставлением государственных услуг. Ряд ИС используется для проведения аналитических исследований и прогнозов, например: «Мониторинг, анализ и прогнозирование социально-экономического развития и финансового состояния регионов Российской Федерации», «PROGNOSis», «Паспорт региона», «Катарсис» [10]. Первая из представленных ИС позволяет строить прогнозы и проводить имитационное моделирование с возможностью выбора пользователем функциональной формы моделей. К сожалению, платформа не предоставляет возможность формирования обобщенных показателей, а также не позволяет на базе этих показателей сбалансировать значения частных индикаторов (привести их к заданному значению) посредством поиска оптимальных существенных факторных признаков.

На уровне региона (субъекта РФ) или муниципального образования зачастую требуются укрупненные (в определенной мере) оценки функционирования объекта управления и рекомендации в части его развития и принятия решений. Детализация решений осуществляется при разработке соответствующих мероприятий. Таким образом, особую актуальность приобретают подходы и инструмен-

¹ Лаборатория агентного моделирования (<http://abm.center/publications/>)

² <http://www.economy.gov.ru>

тальные средства, использование которых не требует от пользователей специальных навыков в области моделирования социально-экономических процессов и углубленных знаний в сфере эконометрического моделирования и статистической обработки информации, и которые могли бы давать обоснованные количественно выраженные рекомендации органам управления различных уровней (регион, муниципальное образование, предприятие), направленные на оптимальное, с точки зрения используемых ресурсов и затрат на реализацию соответствующих мероприятий, развитие объекта управления.

Целью статьи является представление и реализация подхода к оценке функционирования ИСЭС с помощью модифицированного программного комплекса [11, 12], на примере изучения использования информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) населением регионов Центрального федерального округа, в том числе Тульской области.

1. Формализованное описание подхода

Предлагаемый подход основан на классической методике системного анализа, включающей в себя этапы анализа и синтеза управленческих решений [13–15].

Будем рассматривать ИСЭС как открытые территориальные социально-экономические системы регионального уровня (мезоуровня) со смешанным типом экономических отношений, в разрезе институционального типа социальных отношений, с акцентом на их подсистемы средового типа, взаимодействующих с подсистемами объектного, процессного и проектного типов в рамках пространственно-временной классификации, базирующейся на системной парадигме [16].

Под функционированием будем понимать деятельность, связанную с выполнением объектом исследования определенных работ в относительно неизменных условиях, имеющих некоторые ограничения, направленную на достижение своих целей, в том числе обеспечение жизнедеятельности – как собственной, так и других связанных с ним объектов, представляющих для него интерес. Под оценкой функционирования ИСЭС будем понимать количественно выраженные результаты ее жизнедеятельности (отдельные ее составляющие), – ценностную (аксиологическую) и практическую (гносеологическую и аксиологическую) значимо-

сти с точки зрения действующего и познающего объекта, – позволяющие проанализировать соответствие таких результатов нормативным (ожидаемым, плановым) значениям с учетом конкретных условий (факторов состояния и воздействия).

В рамках исследования изучается один из уровней L_p иерархической социально-экономической системы, представляющей собой частично упорядоченное множество $\langle H, R \rangle$ элементов $k_{p,(p-1),v_p,s_q}$ между элементами которых определено отношение нестрогости порядка R [17–19]. Здесь p – уровень иерархии (подмножество L_p); $(p-1)$ – номер элемента уровня $p-1$, которому подчинен элемент уровня p ; v_p – номер элемента; s_q – номер класса элемента (под классом понимается подмножество элементов, сгруппированных по одному из возможных оснований). Примерами классификаций могут служить совокупность элементов, осуществляющих деятельность в соответствии с ОКВЭД (общероссийский классификатор видов экономической деятельности), секторальная классификация [20], пространственно-временная классификация [21], разделение ИСЭС на социальную, экономическую и экологическую составляющие (подсистемы – классы) [22]. Каждый из элементов характеризуется четырьмя типами признаков (допускается изучать элементы через их признаковые описания) К ним относятся:

- ◆ результативный признак $y_{p,(p-1),v_p,s_q}(t)$ – фактическое значение результата функционирования элемента. Например, для региона это объем валового регионального продукта (ВРП) по соответствующему виду деятельности ОКВЭД;

- ◆ факторы состояния $x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}(t)$ (например, численность занятых в одноименном виде ОКВЭД);

- ◆ факторы воздействия $z_{p,(p-1),v_p,s_q,u}(t)$ (например, инвестиции в основной капитал);

- ◆ нормативный (ожидаемый) результативный признак $\hat{y}_{p,(p-1),v_p,s_q}(t)$ – нормативное значение.

Здесь t – период времени, $t = 1, \dots, T$, – число периодов; $j = 1, \dots, J$; J – число факторов состояния; $u = 1, \dots, U$; U – число факторов воздействия. При этом существует функция такая, что

$$f_{p,(p-1),s_q} : x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}(t), z_{p,(p-1),v_p,s_q,u}(t) \rightarrow \hat{y}_{p,(p-1),v_p,s_q}(t). \quad (1)$$

Тогда значения частного (для одного v_p -го элемента) и интегрального (для совокупности элементов с индексом v_p , принадлежащих одному классу) показателей результативности будут определяться по формулам [23]:

$$\xi_{p,(p-1),s_q}(t) = \frac{y_{p,(p-1),v_p,s_q}^0(t)}{\hat{y}_{p,(p-1),v_p,s_q}^0(t)}, \quad (2)$$

$$\xi_{p,v_p,s_q}(t) = \frac{\sqrt{\sum_{i_1=1}^I \sum_{i_2=1}^I r_{p,i_1,i_2,s_q} \cdot y_{p,i_1,v_p,s_q}^0(t) \cdot y_{p,i_2,v_p,s_q}^0(t)}}{\sqrt{\sum_{i_1=1}^I \sum_{i_2=1}^I \hat{r}_{p,i_1,i_2,s_q} \cdot \hat{y}_{p,i_1,v_p,s_q}^0(t) \cdot \hat{y}_{p,i_2,v_p,s_q}^0(t)}}, \quad (3)$$

где r_{p,i_1,i_2,s_q} , \hat{r}_{p,i_1,i_2,s_q} – соответствующие значения парного коэффициента корреляции между i_1 -ми y_{p,i_1,v_p,s_q}^0 , $\hat{y}_{p,i_1,v_p,s_q}^0$ и i_2 -ми $y_{p,i_2,v_p,s_q}^0(t)$, $\hat{y}_{p,i_2,v_p,s_q}^0$ переменными (результативные признаки соответственно фактические и ожидаемые (нормативные), значения последних определяются с помощью производственной функции (ПФ)) ($i_1, i_2 = 1, \dots, I$ – число результативных признаков); индекс «0» показывает, что проведена процедура нормализации (приведение к шкале от 0 до 1) после перехода от абсолютных значений признаков к их стандартизованным представлениям. Функциональная форма и параметры ПФ могут быть получены с помощью факторного анализа зависимостей [24]. Выражение, стоящее в знаменателе (3), будем называть агрегированной ПФ (АПФ).

Если значение показателя для v_p -го(ой) элемента (подсистемы) больше единицы, то функционирование рассматриваемого объекта является удовлетворительным.

Предложенный индикатор обладает рядом полезных свойств, отличающих его от других обобщенных индикаторов оценки, различающихся способом агрегирования (свертки) частных показателей, например, таких как среднее различных типов [25], суммирование с помощью весовых коэффициентов [26] или формирование латентных переменных [27]. К числу данных свойств относятся:

- ◆ безразмерность, которая позволяет сравнивать признаки, имеющие разный характер и относящиеся к разным процессам (например, экономический и социальный);
- ◆ нормализация – обеспечивает сокращение влияния эффекта масштаба и наглядность результатов (приведение к шкале от 0 до 1);
- ◆ нормируемость – делает возможным сравнивать полученные оценки с нормативом (ожидаемым значением).

Представленный интегральный (обобщенный) индикатор результативности учитывает взаимосвязь частных индикаторов, характеризующих функционирование подсистемы и ее элементов, входящих в

класс, а также конкретные условия, в которых осуществляет деятельность объект исследования.

Для оценки сбалансированности функционирования ИСЭС используется следующий индикатор (коэффициент гармоничности):

$$H_{Ap} = 1 - \frac{\sigma(\xi_{p,i})}{M(\xi_{p,i})}, \quad H_{Ap,s_q} = 1 - \frac{\sigma(\xi_{p,i,s_q})}{M(\xi_{p,i,s_q})}, \quad (4)$$

где $M(\xi_{p,i})$, $M(\xi_{p,i,s_q})$ – математические ожидания;

$\sigma(\xi_{p,i})$, $\sigma(\xi_{p,i,s_q})$ – среднеквадратические отклонения,

$i = 1, \dots, I$, I – число частных показателей результативности, характеризующих класс s_q (в случае построения коэффициента гармоничности уровня $i = 1, \dots, Q$, Q – число интегральных показателей результативности, соответствующих числу классов);

$\xi_{p,i}$, ξ_{p,i,s_q} – переменные, значения которых определяются соответственно по (2) и (3).

Являясь производным от частных и интегрально-го показателей результативности, коэффициент гармоничности сохраняет ряд их свойств, его значение не превышает единицы и характеризует степень соответствия всех индикаторов нормативным (ожидаемым) значениям при конкретных условиях функционирования объекта исследования, а также их соответствие друг другу. Это отличает коэффициент гармоничности от других индикаторов, построенных, например, на основе оценки доли (вклада) каждой из подсистем в общий результат функционирования системы [28], интенсивности взаимодействия [16] или координации взаимосвязей [29].

Для оценки эффективности ИСЭС используется набор из десяти индикаторов, включая индикаторы эффективности функционирования (4 индикатора), эффективности воздействия (4 индикатора) и эффективности управления (2 индикатора). Общая формула определяется следующим образом [23]:

$$Ef(t) = \frac{\xi(t)/\xi(t_0)}{x(t)/x(t_0)}, \quad (5)$$

где $\xi(t)$, $\xi(t_0)$, $x(t)$, $x(t_0)$ – соответственно частные (или интегральные) показатели результативности функционирования элемента (подсистемы) и его (ее) факторный признак (факторы состояния или факторы воздействия, или обобщенный фактор, определяемый аналогично числителю (3)) текущего и базисного либо предыдущего периода. В зависи-

мости от типа показателей и факторов, находящихся соответственно в числителе и знаменателе выражения (5), формируются десять типов индикаторов эффективности.

Значения показателей (5), которые больше 1, можно интерпретировать следующим образом: изменение результата больше, чем «затраты» на его изменение.

Представленные показатели эффективности в дополнение к традиционным, характеризующим соотношение результатов и затрат на их осуществление (например, рентабельность и т.п.) или показателям технической эффективности [30] не «искажаются» используемыми единицами измерения и сохраняют свойство нормируемости.

После проведения этапа анализа ИСЭС, на котором идентифицируются не соответствующие ожидаемым (нормативным) значениям результаты ее функционирования (ее подсистем или элементов), осуществляется этап синтеза решения. Для элементов (подсистем), для которых частные (интегральные) показатели результативности меньше единицы, необходимо осуществить процедуру оптимизации, то есть найти такие факторы состояния и воздействия (либо их изменения), при которых ожидаемый (нормативный) результат функционирования рассматриваемых элементов (подсистем) соответствовал бы фактическим результатам. Процедуру оптимизации целесообразно осуществлять с использованием стандартизованных моделей [31]. Одну из частных задач можно сформулировать следующим образом.

Пусть нормативный (ожидаемый) результат $\hat{y}_{p,(p-1),v_p,s_q}^0(t)$ для элемента $k_{p,(p-1),v_p,s_q}$ совокупности может быть представлен в общем виде:

$$\hat{y}_{p,(p-1),v_p,s_q}^0(t) = f(x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t) + \Delta x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t), z_{p,(p-1),v_p,s_q,s}^*(t) + \Delta z_{p,(p-1),v_p,s_q,s}^*(t)), \quad (6)$$

где j, s – индексы факторов состояния $x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t)$ и воздействия $z_{p,(p-1),v_p,s_q,s}^*(t)$;

$\Delta x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t)$, и $\Delta z_{p,(p-1),v_p,s_q,s}^*(t)$ – их соответствующие возможные приращения (стандартизованные (индекс «*»));

t – время (период);

Процедура нормализации обозначена верхним индексом «0». Функциональная форма f может быть произвольной (линейной или нелинейной).

Ставится задача: при каких возможных значениях $x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t) + \Delta x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t)$, $z_{p,(p-1),v_p,s_q,s}^*(t)$

+ $\Delta z_{p,(p-1),v_p,s_q,s}^*(t)$ (при известных $x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t)$ и $z_{p,(p-1),v_p,s_q,s}^*(t)$) выражение, аналогичное соотношению (2), стремилось бы к единице:

$$\frac{y_{p,(p-1),v_p,s_q}^0(t)}{\hat{y}_{p,(p-1),v_p,s_q}^0(t)} \rightarrow 1, \quad (7)$$

где $y_{p,(p-1),v_p,s_q}^0(t)$ – значения нормализованной ПФ с известными функциональной формой, параметрами, факторами $x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t)$ и $z_{p,(p-1),v_p,s_q,s}^*(t)$ и неизвестными факторами $\Delta x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t)$ и $\Delta z_{p,(p-1),v_p,s_q,s}^*(t)$;

$y_{p,(p-1),v_p,s_q}^0(t)$ – нормализованные фактические значения результата функционирования элемента $k_{p,(p-1),v_p,s_q}$ в период времени t .

На основании этого требования целевую функцию можно представить в виде разности фактического и расчетного значений результатов функционирования объекта исследования с неизвестными $\Delta x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t)$, и $\Delta z_{p,(p-1),v_p,s_q,s}^*(t)$, стоящими в числителе и знаменателе соотношения (7):

$$F(t) = \hat{y}_{p,(p-1),v_p,s_q}^0(t) - y_{p,(p-1),v_p,s_q}^0(t) \rightarrow \min. \quad (8)$$

Пусть имеются ограничения, в общем случае, нелинейного вида:

$$\begin{aligned} g_l(x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t) + \Delta x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t), \\ z_{p,(p-1),v_p,s_q,q_1}^*(t) + \Delta z_{p,(p-1),v_p,s_q,q_1}^*(t))^0, \\ z_{p,(p-1),v_p,s_q,q_2}^*(t) + \Delta z_{p,(p-1),v_p,s_q,q_2}^*(t) = 0, \end{aligned} \quad (9)$$

где l – число ограничений;

j – индекс факторов состояния;

q_1, q_2 – индексы неуправляемых и управляемых факторов воздействия с соответственно;

$$\{z_{p,(p-1),v_p,s_q,s}^*(t)\} = \{z_{p,(p-1),v_p,s_q,q_1}^*(t)\} \cup \{z_{p,(p-1),v_p,s_q,q_2}^*(t)\} -$$

множество факторов воздействия.

Требуется найти такое решение $\Delta x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t)$, $\Delta z_{p,(p-1),v_p,s_q,q_2}^*(t)$, при котором функция (8) при наличии ограничений (9) принимала бы минимальное значение.

Если найденные значения $x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t) + \Delta x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t)$ и $z_{p,(p-1),v_p,s_q,s}^*(t) + \Delta z_{p,(p-1),v_p,s_q,s}^*(t)$ подставить в (2), то значение показателя результативности будет равно единице, что будет свидетельствовать о том, что при таких условиях результат функционирования элемента $k_{p,(p-1),v_p,s_q}$ можно считать удовлетворительным.

В случае, если критериями оптимальности функционирования ИСЭС или ее подсистем будут выступать равенства единице интегрального показателя, коэффициента гармоничности, индикаторов эффективности или их комбинации, то поиск соответствующих факторов состояния и воздействия ИСЭС может быть сведен к задаче многокритериальной оптимизации, решение которой может быть осуществлено рядом методов [31–34]. Полученные значения $\Delta x_{p,(p-1),v_p,s_q,j}^*(t)$ и $\Delta z_{p,(p-1),v_p,s_q,s}^*(t)$ могут выступать в качестве рекомендаций органам управления различного уровня при формировании обоснованных управленческих решений и разработке соответствующих мероприятий.

Таким образом, представленный подход для ИСЭС в рамках принятой классификации и иерархии позволяет реализовать базовую методику системного анализа, включающую в себя этапы анализа сложных систем и синтеза управленческих решений.

2. Концептуальная схема и алгоритм реализации подхода

Концептуальная схема реализации подхода представляет собой четыре обобщенных блока (рис. 1), которые реализуют соответствующий алгоритм.

Первый блок предусматривает загрузку данных. Примером могут служить статистические данные по регионам Центрального федерального округа (ЦФО), сгруппированные по годам.

Второй блок предусматривает реализацию следующих функций.

1. Корреляционный анализ. Для уровня значимости, задаваемого пользователем, осуществляется вывод значений коэффициентов корреляции Пирсона, t -статистики и его критическое значение между признаковыми описаниями элементов по заданным периодам. Значимые коэффициенты выделяются цветом.

2. Факторный анализ зависимостей.

2.1. Выбор результативных и факторных признаков (факторов состояния и факторов воздействия) для построения моделей. Предусмотрен выбор нескольких результативных признаков.

2.2. Выбор функциональной формы моделей. Предусматривает выбор линейной, логарифмической, экспоненциальной и степенной мультипликативной форм.

2.3. Выбор периода оценки. Предусматривает выбор начального и конечного периодов. Если указано только число периодов, то оценка производится, начиная с последнего заданного периода.

2.4. Построение моделей. Данная функция реализована с помощью двух методов: простого и пошагового метода наименьших квадратов. При этом формируются модели для абсолютных и стандартизованных переменных (стандартизованные модели).

2.5. Оценка качества моделей и ее параметров. Включает оценку качества моделей по критерию Фишера (оценивается коэффициент детерминации) и параметров моделей – по критерию Стьюдента, с соответствующим вычислением расчетных и критических значений и стандартных ошибок, а также последующим формированием экспертного заключения по результатам факторного анализа зависимостей. Качество моделей может быть оценено как для линеаризованных, так и для не линеаризованных моделей.

2.6. Дополнительное тестирование на мультиколлинеарность факторов (тест Фаррара–Глоубера) и на гетероскедастичность ряда остатков (тест ранговой корреляции Спирмена).

2.7. Вычисление дополнительных характеристик: средней относительной ошибки фактических и нормативных значений, а также коэффициентов эластичности для соответствующих факторных признаков.

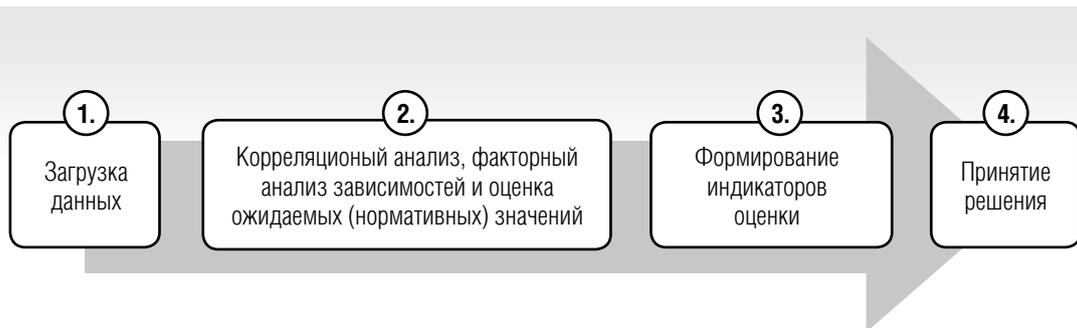


Рис. 1. Концептуальная обобщенная схема алгоритма

2.8. Точечная и интервальная оценка ожидаемых (нормативных) значений результативных признаков. Используется следующая формула:

$$\hat{y}_{p,(p-1),v_p,s_q} = \hat{y}_{p,(p-1),v_p,s_q} \pm t_{1\alpha,n-J-1} \cdot s_y \cdot \left(1 + [XZ]_0^T \cdot ([XZ]^T \cdot [XZ])^{-1} \cdot [XZ]_0\right)^{1/2}, \quad (10)$$

где s_y – стандартная ошибка;

$\hat{y}_{p,(p-1),v_p,s_q}$ – вычисленные значения по формуле, аналогичной (6), но для абсолютных значений факторных и результативных признаков;

$t_{1\alpha,n-J-1}$ – коэффициент, учитывающий доверительную вероятность (определяется по таблице распределения Стьюдента), α – уровень значимости, n – число наблюдений, J – число параметров модели;

$[XZ]$ – матрица факторов состояния и воздействия;

$[XZ]_0$ – вектор ожидаемых значений (этот вектор можно вводить как в соответствующей форме, так и загружать из файла).

2.9. Передача построенных моделей в блок формирования индикаторов оценки. Передача может быть осуществлена двумя способами: полным (в случае одновременной оценки нескольких выбранных результативных признаков) или пошаговым (в случае построения и оценки моделей по одному результативному признаку). Если результативный признак имеет негативный характер, то предусмотрена процедура инвертирования индикатора (замена его значений на обратные величины со знаком «минус»).

3. Блок формирования индикаторов оценки запускается после ввода исходных данных и отработки второго блока. Он предусматривает реализацию следующих операций.

3.1. Установка периодов оценки «от и до» и ввод числа элементов, принадлежащих только одному элементу более высокого уровня. В дополнение операция 3.1. используется для проверки корректности ввода исходных данных. В случае несоответствия введенного числа и периода оценки выводится сообщение с указанием причины невозможности запуска последующих процедур.

3.2. Выбор результативных и факторных признаков для формирования частных индикаторов оценки функционирования выбранных элементов и их совокупности, формирующих класс или совокупность классов.

3.3. Расчет частных (формула (2)) и интегральных (формула (3)) показателей результативности, гармоничности (формула (4)) и эффективности различных типов (формула (5)).

3.4. Установка требуемых для вывода результатов оценки функционирования элементов и класса (классов) одного уровня ИСЭС.

4. Блок принятия решения. Запускается после выполнения третьего блока. Включает в себя следующие процедуры.

4.1. Выбор результативных признаков для проведения оптимизации.

4.2. Установка требуемых параметров оптимизации, включающих дополнительную опцию оптимизации по интегральному (обобщенному) показателю, а также оптимизацию по каждому из факторных признаков.

4.3. Проведение оптимизации. На данном этапе реализуется алгоритм оптимизации, заключающийся в поиске факторов состояния и воздействия по отдельности и по обобщенному фактору для частных интегральных показателей результативности. В представленной версии ограничение (9) не используется.

При этом каждый из блоков предусматривает вывод результатов в виде таблиц и графиков, а также экспертных заключений.

Таким образом, концептуальная схема и представленный алгоритм позволяют реализовать предложенный подход к оценке функционирования уровней, классов и отдельных элементов ИСЭС.

3. Результаты оценки использования информационно-телекоммуникационных технологий населением регионов ЦФО и Тульской области

Представленный подход был протестирован на примере регионов Центрального федерального округа (без учета г. Москва).

Выбор показателей оценки был обусловлен имеющейся информацией, полученной из открытых источников и традиционно используемой при анализе уровня развития ИКТ на региональном уровне, а также существенными факторами, которые могли бы повлиять на такие результаты.

В связи с ограниченностью и отсутствием информации для ряда индикаторов до 2014 года (хотя по методологии можно использовать данные, имеющие разную длину (число точек)) для регио-

нов ЦФО был выбран период оценки 2014–2017 гг. Информационная база была составлена по данным Росстата. В качестве инструментального средства был использован программный комплекс «ЭФРА», реализующий представленный подход [35].

На основании корреляционного анализа (применен соответствующий модуль программы «ЭФРА» с t -статистикой для уровня значимости $\alpha = 0,05$) были выбраны 7 из 10 результативных признаков и 6 из 12 факторных признаков (факторов функционирования), характеризующих особенности использования ИКТ в регионах. Эти признаки были использованы при построении частных и интегральных показателей (индикаторов) результативности (таблица 1). Все стоимостные показатели были скорректированы на уровень инфляции и приведены к уровню 2007 года.

Для построения моделей применен модуль регрессионного анализа. Поскольку выбор функциональной формы моделей не обосновывается в рамках исследования (это требует более глубокого изучения), то в силу отсутствия информации о них принята линейная форма моделей, как наиболее простая с точки зрения оценки ее параметров. Для построения моделей был использован пошаговый

метод наименьших квадратов и исключены незначимые факторы по t -статистике с уровнем значимости $\alpha = 0,05$.

Факторы, связанные с расходами консолидированного бюджета, не попали в модели, поскольку коэффициенты, характеризующие их влияние на результативный признак, оказались статистически незначимыми. С качественной точки зрения, это может быть связано с отсутствием информации о целевом использовании расходов в части обучения населения компьютерной грамотности и социальной поддержки, например, на приобретение оргтехники. Следовательно, при разработке предложений не следует исключать из рассмотрения организацию образовательных мероприятий и мер социальной поддержки, направленных на повышение уровня использования ИКТ в жизнедеятельности населения.

Результаты \hat{y}_6^* и \hat{y}_7^* в большей мере связаны с показателем среднегодовой численности занятых в экономике, чем с уровнем заработной платы. При этом \hat{y}_5^* зависит от среднемесячной номинальной начисленной заработной платы работников организаций. Результаты \hat{y}_3^* , \hat{y}_6^* и \hat{y}_7^* также существенно зависят от затрат на ИКТ, имеющих место в регионе.

Таблица 1.

Результаты и факторы (условия) функционирования регионов ЦФО

№	Наименование показателя	Обозначение
Факторы состояния и воздействия (факторные признаки)		
1	Среднегодовая численность занятых в экономике, тыс. чел.	x_1
2	Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций, руб.	x_2
3	Удельный вес домохозяйств, имевших персональный компьютер, %	x_3
4	Расходы консолидированного бюджета на образование, млн руб.	z_1
5	Расходы консолидированного бюджета на социальную политику, млн руб.	z_2
6	Затраты на ИКТ (всего), млн руб.	z_3
Результаты (результативные признаки)		
7	Удельный вес домохозяйств, имевших доступ к сети интернет, %	y_1
8	Удельный вес домохозяйств, имевших широкополосный доступ к сети интернет, %	y_2
9	Пользователи интернет, %	y_3
10	Пользователи, выходящие в интернет каждый день, %	y_4
11	Число подключенных абонентских устройств мобильной связи на 1000 человек населения, ед.	y_5
12	Число активных абонентов широкополосного доступа к сети интернет, физические лица, тыс. чел.	y_6
13	Число активных абонентов мобильной связи, использующих услуги доступа к сети интернет, тыс. чел.	y_7

Представленные модели могут быть использованы как для разработки прогнозов и вычисления ожидаемых значений результатов функционирования регионов, так и для их оценки, а также для принятия управленческих решений.

Используя соотношения (1)–(3), были вычислены показатели результативности ξ_i ($i = 1, \dots, 7$ со-

ответствует номеру результативного признака в таблице 1) по регионам ЦФО, по которым можно оценить уровень населения в части использования ИКТ. Результаты 2017 года представлены на рис. 2.

Результаты показывают, что, хотя в абсолютных значениях Тульская область среди всех регионов ЦФО по большинству показателей занимает второе

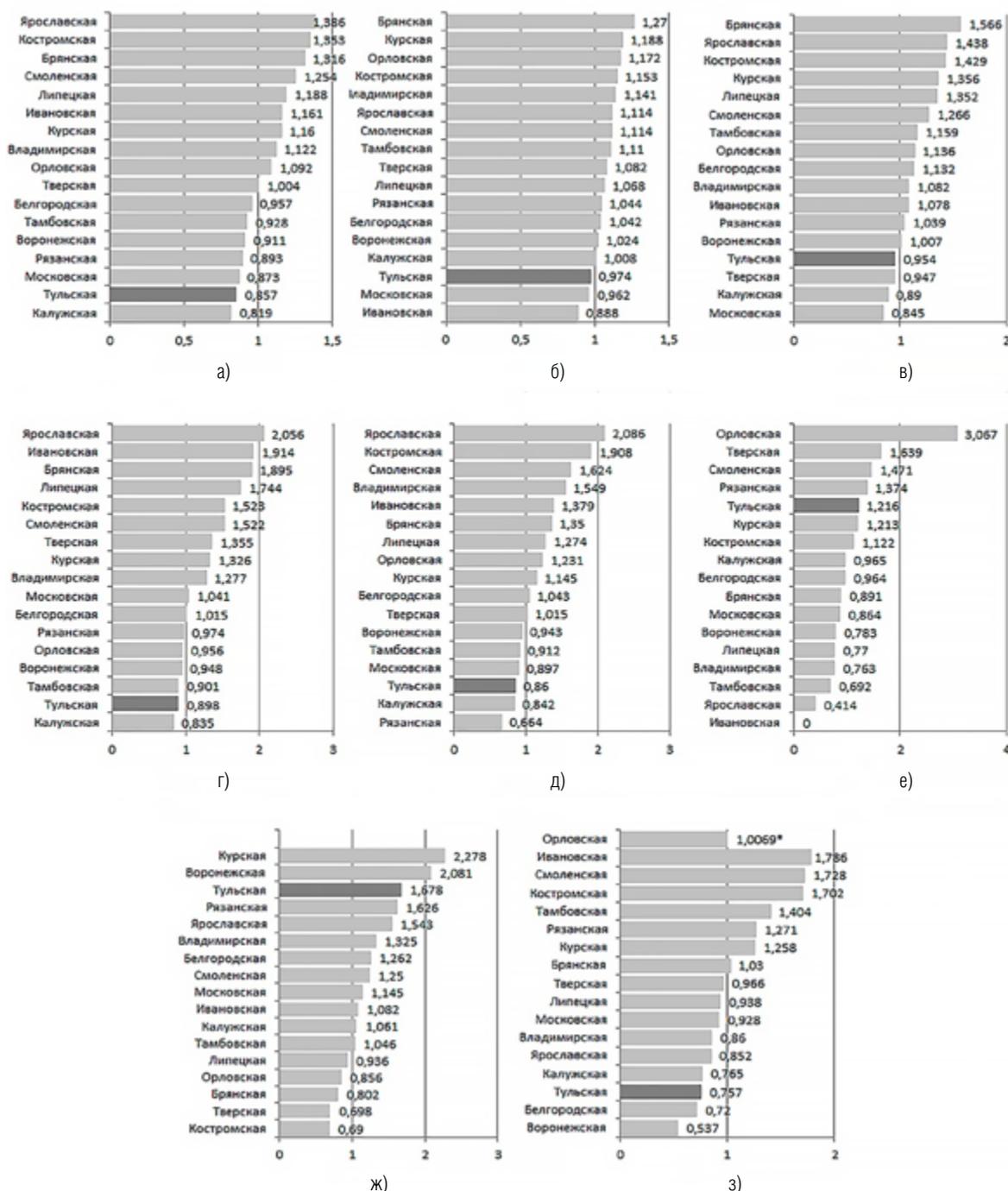


Рис. 2. Значения индикаторов результативности для регионов ЦФО в 2017 г.: а) интегральный (обобщенный) показатель ξ ; б) ξ_1 ; в) ξ_2 ; г) ξ_3 ; д) ξ_4 ; е) ξ_5 ; ж) ξ_6 ; з) ξ_6

место, при учете существующих условий (факторов), выделенных как существенные, функционирование Тульской области по ряду показателей не достигает норматива (ожидаемого) значения. Это свидетельствует о недостаточном использовании возможностей (потенциала) региона для повышения уровня цифровизации.

Для Тульской области с помощью модуля принятия решений комплекса «ЭФРА» в простейшем случае (задача оптимизации каждого индикатора по отдельности без учета ограничений) были найдены факторы состояния и воздействия, при которых значения показателей достигали бы норматива.

Решение такой задачи можно качественно интерпретировать следующим образом.

Интерпретация 1: на какие величины $\Delta x_{k,i,j}^*(t)$, $\Delta z_{k,i,q}^*(t)$ наблюдается перерасход (недоиспользование) факторов состояния и воздействия в k -м регионе.

Интерпретация 2: на какие величины $\Delta x_{k,i,j}^*(t)$, $\Delta z_{k,i,q}^*(t)$ необходимо интенсифицировать использование $x_{k,i,j}^*(t)$ и рационализировать $\Delta z_{k,i,q}^*(t)$, чтобы норматив в k -м регионе был достигнут.

Результаты расчета для Тульской области представлены в *таблице 2*. В данной таблице:

- ◆ ξ_i соответствует оценке i -го результата функционирования y_i ;
- ◆ знак показывает, на сколько процентов наблюдается перерасход («-») или излишек («+») факторного признака, в связи с чем норматив не достигается;
- ◆ 0 обозначает, что оптимизация для данного субъекта не требуется;
- ◆ >100 показывает, что норматив не может быть достигнут при изменении только одного фактора,
- ◆ прочерк показывает, что данный фактор не используется в модели.

Полученные результаты могут служить основой для более глубокого анализа причин недоиспользования (перерасхода) имеющихся условий (факторов) и дальнейшего принятия управленческих решений, также разработки соответствующих мероприятий.

Можно сделать вывод, к направлениям, на которых следует акцентировать внимание при разработке мероприятий по повышению уровня использования ИКТ населением Тульской области, относятся

- ◆ организация образовательных услуг, в том числе с поддержкой органов государственного управления и местного самоуправления;
- ◆ социальная поддержка граждан в части использования ИКТ;
- ◆ увеличение занятости населения в сферах, где используются ИКТ;
- ◆ изменение уровня заработной платы;
- ◆ изменение как объема затрат на ИКТ, так и структуры использования выделенных средств, что требует более глубокого изучения (которое в рамках данного исследования не предусмотрено).

В части дальнейшей работы в области повышения уровня использования ИКТ населением с использованием представленного подхода можно предложить следующие этапы:

1. Углубленная оценка условий (факторов состояния и факторов воздействия) на уровень цифровой грамотности населения за счет расширения информационной базы исследования, как в части секционных, так и кросс-секционных данных в разрезах муниципальных образований и регионов, с построением моделей развития региона с точечной и интервальной оценками в краткосрочной и среднесрочной перспективе;

2. Оценка эффективности управления цифровизацией региона;

Таблица 2.

Оптимизация показателей результативности по данным за 2017 г. для Тульской области по соответствующим факторам, %

№	Фактор/ Индикатор	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_5	ξ_6	ξ_7
1	x_1	-	-	-	-	-	0	-16,99
2	x_2	-	-	-	-	0	-	-
3	x_3	-0,84	-1,81	-4,34	-6,73	-	-	-
4	x_4	-	-	-	-	0	0	>100

3. Оценка гармоничности (сбалансированности) функционирования региона в части цифровизации с использованием авторской методики;

4. Детальная проработка мероприятий, в том числе в количественном выражении на базе нескольких классов решаемых задач оптимизации, направленных на обеспечение сбалансированного роста и повышения цифровой грамотности населения региона.

Заключение

В настоящей статье представлен подход к оценке функционирования сложных систем (ИСЭС) и принятия решений, реализованный в программном комплексе «ЭФРА». Отличием используемого подхода от подобных является возможность учета конкретных условий функционирования ИСЭС и формирование для них собственных нормативов. Сконструированные индикаторы позволяют сравнивать разные объекты, действующие в различных условиях, а используемые процедуры построения таких индикаторов устраняют влияние единиц измерения и эффекта масштаба. Интегральный показатель учи-

тывает взаимное влияние частных результатов функционирования ИСЭС, что редко применяется при формировании интегральных оценок. Коэффициент гармоничности и показатели эффективности в сочетании с частными и интегральными показателями результативности формируют систему показателей оценки функционирования ИСЭС, а используемая методика оптимизации позволяет найти значения факторов состояния и воздействия для достижения нормативных величин оцениваемых индикаторов объекта исследования.

На примере регионов ЦФО по данным за 2014–2017 гг. проанализирован уровень использования ИКТ населением субъектов РФ, а для Тульской области найдены необходимые изменения факторов состояния и воздействия, при которых рассматриваемые показатели оценки достигали бы нормативного (ожидаемого) значения. На базе полученных результатов с помощью комплекса «ЭФРА» предложен ряд ориентиров развития региона в части использования ИКТ и повышения уровня цифровой грамотности населения Тульской области, направленных, в конечном счете, на повышение готовности региона к цифровизации. ■

Литература

1. Столбов А.Б. Программное обеспечение комплексных исследований социо-эколого-экономических систем на основе моделей «Регион»: аналитический обзор // Программные системы: теория и приложения. 2017. Т. 8. № 4 (35). С. 47–83. DOI: 10.25209/2079-3316-2017-8-4-47-83.
2. Гурман В.И., Трушкова Е.А., Фесько О.В. Программный комплекс для сценарного анализа инновационных стратегий развития региона // Программные системы: теория и приложения. 2012. Т. 3. № 5 (14). С. 7–22.
3. Современные инструменты оценки мировых торговых войн / В.Л. Макаров и [др.] // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 7. С. 745–754. DOI: 10.31857/S0869-5873897745-754.
4. Урупленная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского Союза / В.Л. Макаров и [др.] // Экономика и математические методы. 2019. Т. 55. № 1. С. 3–15. DOI: 10.31857/S042473880004044-7.
5. Моделирование развития экономики региона и эффективность пространства инноваций / В.Л. Макаров и [др.] // Форсайт. 2016. Т. 10. № 3. С. 76–90. DOI: 10.17323/1995-459X.2016.3.76.90.
6. Бекларян Г.Л. Имитационная модель региона в применении к анализу экономики Красноярского края // Экономика и математические методы. 2019. Т. 55. № 3. С. 47–61. DOI: 10.31857/S042473880005769-4.
7. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L. Developing digital twins for production enterprises // Business Informatics. 2019. Vol. 13. No 4. P. 7–16. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.7.16.
8. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Компьютерное моделирование социально-экономических процессов // Вестник ЦЭМИ РАН. 2018. № 1. [Электронный ресурс]: <https://cemi.jes.su/s11111110000104-7-1/> (дата обращения: 06.11.2019). DOI: 10.33276/S0000104-7-1.
9. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике. М.: Ленанд, 2015.
10. Халиуллина Д.Н. Краткий обзор современных средств мониторинга сложных социально-экономических систем региона // Труды Кольского научного центра РАН. 2014. № 5 (24). С. 185–195.
11. Жуков Р.А. Внедрение программных экономико-математических комплексов в практику деятельности органов государственного управления // Фундаментальные исследования. 2015. № 9–3. С. 555–559.
12. Жуков Р.А., Васина М.В., Соболева Д.В. Реализация алгоритма вычисления коэффициента гармоничности на базе экспертной системы // Вестник Тульского филиала Финансового университета. 2019. № 1. С. 218–223.
13. Дрогобыцкий И.Н. Системный анализ в экономике. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2011.
14. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой. М.: Экономика, 1975.
15. Bertalanffy L. General system theory – A critical review // General Systems. 1962. Vol. VII. P. 1–20.

16. Клейнер Г.Б., Рыбачук М.А. Системная сбалансированность экономики. М.: Научная библиотека, 2017.
17. Саати Т.Л. Принятие решений: метод анализа иерархий / Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993.
18. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем / Пер. с англ. М.: Мир, 1973.
19. Воронин А.А., Мишин С.П. Оптимальные иерархические структуры. М.: ИПУ РАН, 2003.
20. Колесников Н.Г., Толстогузов О.В. Структурные изменения экономики Северо-Запада России: пространственный аспект // Балтийский регион. 2016. Т. 8. № 2. С. 30–47. DOI: 10.5922/2074-9848-2016-2-2.
21. Клейнер Г.Б. Экономика. Моделирование. Математика. Избранные труды. М.: ЦЭМИ РАН, 2016.
22. 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. No 3. P. 237–261.
23. Жуков Р.А. Социо-эколого-экономические системы: теория и практика. М.: ИНФРА-М, 2019. DOI: 10.12737/monography_5b7516626665a8.43347695.
24. Comparative analysis of results of assessing the Central Federal District's regions' economic development by using linear and non-linear models / R. Zhukov [et al.] // Statistika: Statistics and Economy Journal. 2019. Vol. 99. No 3. P. 272–286.
25. 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]: <http://www.igidr.ac.in/pdf/publication/WP-2013-020.pdf> (дата обращения: 01.06.2019).
26. Сафиуллин М.Р. Вероятностная модель прогнозирования регионального развития производительных сил / М.Р. Сафиуллин и [др.] // Казанский экономический вестник. 2016. № 4 (24). С. 94–99.
27. Айвазян С.А. Анализ качества и образа жизни населения. М.: Наука, 2012.
28. 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.
29. 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. No 98. P. 18–21. DOI: 10.2112/SI98-005.1.
30. Малахов Д.И., Пильник Н.П. Методы оценки показателя эффективности в моделях стохастической производственной границы // Экономический журнал ВШЭ. 2013. № 4. С. 692–718.
31. Жуков Р.А. Некоторые задачи оптимизации управления социо-эколого-экономическими системами // Чебышевский сборник. 2019. Т. 20. № 1 (69). С. 370–388. DOI: 10.22405/2226-8383-2019-20-1-370-388.
32. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации. М.: Наука, 1978.
33. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: ФИЗМАТЛИТ, 1982.
34. Захарова Е.М., Минашина И.К. Обзор методов многомерной оптимизации // Информационные процессы. 2014. Т. 14. № 3. С. 256–274.
35. Жуков Р.А. Программный комплекс для оценки функционирования сложных систем и принятия решений «ЭФРА» («EFRA»). Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020614151, 26.03.2020.

Об авторе

Жуков Роман Александрович

кандидат физико-математических наук, доцент;
 научный сотрудник, доцент кафедры «Математика и информатика»,
 Тульский филиал Финансового университета при Правительстве РФ,
 300012, г. Тула, ул. Оружейная, д. 1-а;
 E-mail: pluszh@mail.ru
 ORCID: 0000-0002-2280-307X

An approach to assessing the functioning of hierarchical socio-economic systems and decision-making based on the EFRA software package

Roman A. Zhukov

E-mail: pluszh@mail.ru

Financial University under the Government of the Russian Federation, Tula Branch
 Address: 1a, Oruzheynaya Street, Tula 300012, Russia

Abstract

Modern models and methods for evaluating complex systems are associated with hierarchical socio-economic systems (HSES) implemented on the basis of software systems (expert systems and decision support systems) and used at the regional and municipal levels of government. As usual, such systems have the functionality of analytics and building scenario variants for the development of research objects. However, they do not give quantified values of the state and impact factors at which the complex system under consideration can come to a given state. At the same time, the question of determining such a set state associated with the construction of standards (expected values) for elements, classes or levels of the HSES is still open. In some cases, to make an informed decision it is sufficient to obtain aggregated quantitative estimates and recommendations concerning the further functioning of the research object. This article presents the author's approach, which allows us to evaluate the functioning of hierarchical socio-economic systems and provides expert opinions for making management decisions implemented on the basis of the EFRA software package. The algorithm includes stages of analysis and synthesis—stages of the basic method of system analysis. The novelty of the proposed approach is the possibility of taking into account the specific conditions of the status and impact of complex systems that provides an opportunity to build their own standard. Additionally, the procedures of standardization and normalization (reduction to a scale from 0 to 1) make it possible to avoid the influence of different units of measurement of results of operation and economies of scale. On the example of regions of the Central Federal district according to data for 2014–2017, estimates of the use of information and telecommunications technologies by the population were obtained, and the optimization problem was solved for the Tula Region, on the basis of which directions related to increasing the region's readiness for digitalization were proposed.

Key words: hierarchical socio-economic system; modeling; evaluation; decision-making; software package.

Citation: Zhukov R.A. (2020) An approach to assessing the functioning of hierarchical socio-economic systems and decision-making based on the EFRA software package. *Business Informatics*, vol. 14, no 3, pp. 82–95. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.3.82.95

References

1. Stolbov A.B. (2017) Software for complex studies of social-ecological and economic systems based on the “Region” models: an analytical review. *Program systems: Theory and Applications*, vol. 8, no 4 (35), pp. 47–83 (in Russian). DOI: 10.25209/2079-3316-2017-8-4-47-83.
2. Gurman V.I., Trushkova E.A., Fesko O.V. (2012) Software package for optimization of regional development strategy in respect of innovations. *Program Systems: Theory and Applications*, vol. 3, no 5 (14), pp. 7–22 (in Russian).
3. Makarov V.L., Wu J., Wu Z., Khabriev B.R., Bakhtizin A.R. (2019) World trade wars: new impact estimation tools. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, vol. 89, no 7, pp. 745–754 (in Russian). DOI: 10.31857/S0869-5873897745-754.
4. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Rovenskaya E.A., Strelkovskiy N.V. (2019) Aggregated agent-based simulation model of migration flows of the European Union countries. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 55, no 1, pp. 3–15 (in Russian). DOI: 10.31857/S042473880004044-7.
5. Makarov V., Ayvazyan S., Afanasyev M., Bakhtizin A., Nanavyan A. (2016) Modeling the development of regional economy and an innovation space efficiency. *Foresight and STI Governance*, vol. 10, no 3, pp. 76–90 (in Russian). DOI: 10.17323/1995-459X.2016.3.76.90.
6. Beklaryan G. (2019) Aggregated simulation model of a region: Problems of Krasnoyarsk Region. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 55, no 3, pp. 47–61 (in Russian). DOI: 10.31857/S042473880005769-4.
7. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L. (2019) Developing digital twins for production enterprises. *Business Informatics*, vol. 13, no 4, pp. 7–16. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.7.16
8. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D. (2018) Computer modeling of socio-economic processes. *Artificial Societies* (electronic journal), vol. 1. Available at: <https://cemi.jes.su/s11111110000104-7-1/> (accessed 06 November 2019) (in Russian). DOI: 10.33276/S0000104-7-1.
9. Andreichicov A.V., Andreichicova O.N. (2015) *System analysis and synthesis of strategic decisions in innovation*. Moscow: Lenand (in Russian).
10. Khaliullina D.N. (2014) Brief review of present-day methods for monitoring of complex social and economic region systems. *Trudy Kol'skogo Nauchnogo Centra RAN*, vol. 5, no 14, pp. 185–195 (in Russian).
11. Zhukov R.A. (2015) Implementation economics and mathematical software packages into the work of state administration. *Fundamental Research*, vol. 9, no 3, pp. 555–559 (in Russian).
12. Zhukov R.A., Vasina M.V., Soboleva D.V. (2019) Implementation of algorithm of calculation of the harmony coefficient on the basis of an expert system. *Vestnik Tul'skogo Filiala Finuniversiteta*, vol. 1, pp. 218–223 (in Russian).
13. Drogobytsky I.N. (2011) *System analysis in economics*. Moscow: UNITY-DANA (in Russian).
14. Chernyak Yu.I. (1975) *System analysis in economic management*. Moscow: Economics (in Russian).
15. Bertalanffy L. (1962) General system theory – A critical review. *General Systems*, vol. VII, pp. 1–20.
16. Kleiner G.B., Rybachuk M.A. (2017) *System balance of the economy*. Moscow: Scientific Library (in Russian).
17. Saaty T.L. (1993) *Decision-making: The Analytic Hierarchy Process*. Moscow: Radio and Communications (in Russian).
18. Mesarovich M., Mako D., Takahara I. (1973) *Theory of hierarchical multilevel systems*. Moscow: Mir (in Russian).

19. Voronin A.A., Mishin S.P. (2003) *Optimal hierarchical structures*. Moscow: ICS RAS (in Russian).
20. Kolesnikov N.G., Tolstoguzov O.V. (2016) Structural changes in the economy of the Russian Northwest: Spatial dimension. *Baltijskij Region*, vol. 8, no 2, pp. 30–47 (in Russian). DOI: 10.5922/2074-9848-2016-2-2.
21. Kleiner G.B. (2016) *Economy. Modeling. Mathematics. Selected Works*. Moscow: CEMI RAS (in Russian).
22. 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, no 3, pp. 237–261.
23. Zhukov R.A. (2019) *Socio-ecological-economic systems: Theory and practice*. Moscow: INFRA-M (in Russian). DOI: 10.12737/monography_5b7516626665a8.43347695.
24. Zhukov R., Kuznetsov G., Gorodnichev S., Manokhin E., Nazyrova E., Melay E. (2019) Comparative analysis of results of assessing the Central Federal District's regions' economic development by using linear and non-linear models. *Statistika: Statistics and Economy Journal*, vol. 99, no 3, pp. 272–286.
25. Mishra S., Nathan H.S.K. (2013) Measuring Human Development Index: The old, the new and the elegant. *Indira Gandhi Institute of Development Research*. Available at: <http://www.igidr.ac.in/pdf/publication/WP-2013-020.pdf> (accessed 01 June 2019).
26. Safiullin M.R., Elshin L.A., Prygunova M.I., Galyavov A.A. (2016) A probabilistic model for the forecasting of regional development of productive forces. *Kazan Economic Vestnik*, no 4 (24), pp. 94–99 (in Russian).
27. Ayvazyan S.A. (2012) *Analysis of the quality and lifestyle of the population*. Moscow: Nauka (in Russian).
28. Palash S.V. (2017) Structural balance of the economy: government programs for industrial development in the Russian Federation. *St. Petersburg State Polytechnic University Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 10, no 1, pp. 53–72 (in Russian). DOI: 10.18721/JE.10105.
29. 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*, no 98, pp. 18–21. DOI: 10.2112/SI98-005.1.
30. Malakhov D.I., Pilnik N.P. (2013) Methods of estimating of the efficiency in stochastic frontier models. *Higher School of Economics Economic Journal*, no 4, pp. 692–718 (in Russian).
31. Zhukov R.A. (2019) Some optimization problems of the management of socio-ecological-economic systems. *Chebyshevskii Sbornik*, vol. 20, no 1, pp. 370–388 (in Russian). DOI: 10.22405/2226-8383-2019-20-1-370-388.
32. Moiseev N.N., Ivanilov Yu.P., Stolyarova E.M. (1978) *Optimization methods*. Moscow: Nauka (in Russian).
33. Podinovsky V.V., Nogin V.D. (1982) *Pareto-optimal solutions to multicriteria problems*. Moscow: FIZMATLIT (in Russian).
34. Zakharova E.M., Minashina I.K. (2014) Review of multidimensional optimization techniques. *Information Processes*, vol. 14, no 3, pp. 256–274 (in Russian).
35. Zhukov R.A. (2020) *Software package for evaluating the functioning of complex systems and decision making "EFRA"*. Certificate of Registration of the Computer Program RU 2020614151, 26.03.2020.

About the author

Roman A. Zhukov

Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor;
 Researcher, Associate Professor, Department of Mathematics and Informatics,
 Financial University under the Government of the Russian Federation,
 Tula Branch, 1a, Oruzheynaya Street, Tula 300012, Russia;
 E-mail: pluszh@mail.ru
 ORCID: 0000-0002-2280-307X