

DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.46.60

Построение системы динамических нормативов для оценки функционирования сложных систем на примере субъектов Центрального федерального округа

Р.А. Жуков^a 

E-mail: pluszh@mail.ru

С.В. Прокопчина^b 

E-mail: svprokopchina@mail.ru

М.А. Плинская^a 

E-mail: maria.plinskaya@gmail.com

М.А. Желуница^a 

E-mail: maria202001@yandex.ru

^a Финансовый университет при Правительстве РФ, Тульский филиал, Тула, Россия

^b Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Россия

Аннотация

Представлен метод формирования нормативов для оценки результатов функционирования сложных систем, применимых для социо-эколого-экономических систем, с учетом приоритетов развития субъектов Российской Федерации. Методология предполагает выбор нормативных значений из набора норм, построенных по двум методам: первый основан на построении эконометрических моделей с использованием статистических данных для совокупности субъектов (первый тип) и для одного выбранного субъекта (второй тип); второй метод использует методологию байесовских интеллектуальных измерений на базе регуляризирующего байесовского подхода (третий и четвертый типы). В зависимости от результата расчетов выбирается норма, дающая более высокое (в случае высокого приоритета), среднее (в случае среднего приоритета) и меньшее (в случае низкого приоритета) нормативное значение оцениваемых результативных признаков, характеризующих развитие субъекта. Реализация метода продемонстрирована

на примере регионов Центрального федерального округа, в том числе Тульской области, для которой построены эконометрические и нечеткие модели. Данными моделями отображается связь объема валового регионального продукта с численностью занятых, со стоимостью основных производственных фондов. Исследование проведено для сельского хозяйства (раздел А) и добычи полезных ископаемых (раздел С) по ОКВЭД1, образующих сырьевой сектор, по данным за 2007–2022 гг. В качестве инструментальных средств применены программные платформы «ЭФРА» и «Инфоаналитик 2.0». Полученные результаты могут быть использованы региональными органами управления при формировании нормативов для оценки результатов функционирования областей в краткосрочном и среднесрочном периодах.

Ключевые слова: эконометрическая модель, нечеткая модель, байесовские интеллектуальные измерения, норматив, программная платформа, социо-эколого-экономическая система

Цитирование: Жуков Р.А., Прокопчина С.В., Плинская М.А., Желуница М.А. Построение системы динамических нормативов для оценки функционирования сложных систем на примере субъектов Центрального федерального округа // Бизнес-информатика. 2024. Т. 18. № 4. С. 46–60. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.46.60

Введение

При оценке результатов функционирования сложных систем, какими являются субъекты Российской Федерации, рассматриваемые как социо-эколого-экономические системы (далее – СЭЭС) [1], возникает проблема качественного характера: каким образом можно судить о том, насколько удовлетворительны такие результаты, с какими нормами проводить их сравнение. Данная работа является продолжением предшествующих исследований, в том числе вынесенных на защиту диссертации [2]. Под нормой будем понимать ожидаемое (плановое) значение результативного признака, характеризующее заданный режим функционирования системы, ее подсистемы или элемента. Если для технических или программных систем в качестве норм выступают разработанные стандарты [3–5], то для СЭЭС такие стандарты отсутствуют. Даже если рассматривать экологические подсистемы СЭЭС [6], которые должны действовать в рамках стандартов по охране окружающей среды [7]. Например, для предприятий – институциональных единиц – резидентов субъектов Российской Федерации, осуществляющих свою деятельность в соответствии с общероссийским классификатором видов экономических деятельности (далее – ОКВЭД), и сово-

купность которых есть элемент одной из подсистем в рамках принятой классификации [8, 9], допускают загрязнение свыше установленных лимитов и предельно допустимых концентраций вредных веществ (далее – ПДК). При этом такая тенденция может сохраняться на протяжении многих лет в силу специфики производства, что означает: на уровне региона приемлемость (допустимость, ожидаемость, а, следовательно, нормативность) такого результата, разрешенного и регулируемого за счет «компенсации» – платежей в бюджет за загрязнение окружающей среды, что с точки зрения создания благоприятной среды для проживания может вызывать вопросы. Кроме того, субъекты действуют в специфических, конкретных, уникальных и изменяющихся во времени условиях, что должно накладывать ряд ограничений на результаты их функционирования, в том числе на устанавливаемые нормы. Следовательно, для оценки деятельности и развития СЭЭС на основе системы индикаторов и норм необходимо использовать методологии, методы и методики, которые учитывают возникающие ограничения. Примером могут служить частные и интегральные показатели результативности и эффективности, такие как: средние по периоду оценки индикаторы [10, 11]; показатели технической эффективности [12, 13]; индикаторы, построенные на основе производственных функ-

ций [14–16] или в рамках нечеткого моделирования [17–19]. В условиях неполноты и нечеткости данных хорошо работает методология байесовских интеллектуальных измерений (далее – БИИ) [20, 21], и поэтому ее применение представляется целесообразным [22–24]. При этом используемые индикаторы оценки и нормы, рассчитанные на основе разных методологий, могут давать разные результаты, что предопределяет необходимость формирования метода выбора нормативов среди имеющихся и совершенствования методик расчета показателей. В исследовании мы нацелены на разработку метода, позволяющего осуществить такой выбор, а также его реализацию на примере субъектов Центрального федерального округа с акцентом на Тульскую область, с применением программного комплекса «ЭФРА» [25] и разработанной на Python новой версии программной платформы «Инфоаналитик 2.0» [26], дающей возможность рассчитать мягкие нормы и использовать их при формировании динамических нормативов.

1. Построение нормативов на основе эконометрического моделирования

Пусть имеется k_i -тый элемент из K ($k = 1..K_k \in N$) подсистемы типа S_q , представляющий собой совокупность экономических единиц, дающих вклад в объем валового регионального продукта (далее – ВРП) по i -тому из I разделов ОКВЭД 1 ($i = 1..I \in N$). Причем $k_i \subset K \cap I$. Будем считать ВРП результативным признаком (результатом) функционирования элемента k_i и обозначим его как $y_{k,i}$, а соответствующее ему значение в t время наблюдения ($t = 1..T \in N$) – $y_{k,i}(t)$. Элемент k_i функционирует в определенных условиях j ($j = 1..J \in N$), характеризуемых факторными признаками (факторы) $x_{k,i,j}$ со значениями $x_{k,i,j}(t)$.

Тогда связь между значениями результатов и факторов можно представить в виде эконометрического уравнения [27]:

$$y_{k,i}(t) = f_i(C_{i,j}, x_{k,i,j}(t)) + \varepsilon_{k,i}(t), \quad (1)$$

где $C_{i,j}$ – параметры функции $f_i(\cdot) = \widehat{y}_i$;

$\varepsilon_{k,i}$ – значения стохастической случайной составляющей ε_i , которая в первом приближении предполагается нормальной $\varepsilon_i \sim N(0; \sigma_{\varepsilon_i}^2)$.

Тогда для расчета нормативных значений i -того результативного признака первого типа для k_i в

период t будем использовать \widehat{y}_i , которая представляет собой производственную функцию (далее – ПФ), параметры которой можно оценить стандартными методами (OLS, MLE) по объединенной по k и t выборке. Приведем пример такой выборки. Будем рассматривать данные для регионов Центрального федерального округа (далее – ЦФО) за 2007–2022 гг. Раздел ОКВЭД сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство (раздел А) имеет следующий результативный признак – объем ВРП (в млн руб.). Факторными признаками являются численность занятых (тыс. чел.) и стоимость основных производственных фондов по полной учетной стоимости на конец года (млн руб.)

Подставляя в (1) фактические значения факторных признаков $x_{k,i,j}(t)$ для конкретной k области в период времени t , можно получить нормативные (ожидаемые, плановые) значения результативного признака $\widehat{y}_{k,i}(t)$, которые будем называть динамическими нормативами первого типа и обозначим $\bar{y}_{k,i,1}(t)$.

Если построить ПФ по данным только для k_i (например, для Тульской области), то можно получить значения динамических нормативов второго типа $\tilde{y}_{k,i}(t)$ в виде модели $\tilde{y}_{k,i}$, которая применялась ранее в другом качестве как модель функционирования k_i -того элемента – составляющая оптимизационной модели в рамках многоуровневого оптимизационного подхода [28]. Обозначим значения динамических нормативов второго типа как $\bar{y}_{k,i,II}(t)$.

2. Построение нормативов на базе методологии байесовских интеллектуальных измерений

Будем использовать те же обозначения, что и в п. 1. Значения норм для $y_{k,i}(t)$ будем обозначать $\bar{y}_{k,i}(t)$, а для $x_{k,i,j}(t) - \bar{x}_{k,i,j}(t)$. Тогда для их построения в рамках БИИ необходимо осуществить следующие этапы.

1. Задание априорных шкал. Данный этап предполагает формирование базовых априорных числовых и лингвистических шкал с динамическими ограничениями (далее – ШДО) вида $[(\cdot)_{\min} - \sigma_{(\cdot)}; (\cdot)_{\max} + \sigma_{(\cdot)}] : (\cdot) - y_{k,i}$ или $x_{k,i,j}$ (в терминах БИИ это влияющие факторы); $(\cdot)_{\min}$, $(\cdot)_{\max}$ – минимальное и максимальное значение среди $y_{k,i}(t)$ или $x_{k,i,j}(t)$ значений; $\sigma_{(\cdot)}$ – корректировка интервала, определяемого по формуле:

$$\sigma_{(\cdot)} = \overline{(\cdot)}^a / 3. \quad (2)$$

Здесь a – обозначение априорной шкалы, а $\bar{(\cdot)}$ определяется как:

$$\bar{(\cdot)} = ((\cdot)_{\max} + (\cdot)_{\min}) / 2. \quad (3)$$

Будем называть $\bar{(\cdot)}^a$, а также нормы, которые уже известны (задаются на основании стандартов или экспертами), нормами третьего типа, которые обозначим как $\bar{y}_{k,i,III}(t)$.

Для числовой шкалы задается пользователем число реперов L_r , характеризующихся парой чисел $(h_{(\cdot),l}(t); p_{(\cdot),l}(t))$, где $h_{(\cdot),l}(t)$ – значение фактора $(\cdot)(t)$, соответствующее положению репера на шкале с диапазоном динамических ограничений $(l = 1..L_r \in N)$; $p_{(\cdot),l}(t)$ – вероятность, того, что значение $(\cdot)(t) = h_{(\cdot),l}(t)$. Лингвистическая шкала имеет девять классов L_c , начиная от предельно ниже нормы до предельно выше нормы. Для лингвистической шкалы процедура осуществляется аналогично.

Шкала разбивается на девять интервалов с учетом установленной ранее нормы третьего типа посредством перехода от числовых к лингвистическим представлениям [29].

При этом должно выполняться условие:

$$\sum_{l=1}^{L_r} p_{(\cdot),l}(t) = 1. \quad (4)$$

2. Представление влияющих факторов в виде нечетких чисел. Представление значения $x_{k,i,j}(t)$ в форме нечеткого числа будет определяться набором пар чисел $(h_{(\cdot),l}(t); p_{(\cdot),l}^{ap}(t))$ по формуле, аналогичной формуле Байеса [29]:

$$p_{(\cdot),l}^{ap}(t) = P^{ap}(H_{(\cdot),l} | S) = \frac{P^a(H_{(\cdot),l})P(S | H_{(\cdot),l})}{\sum_{j=1}^J P^a(H_{(\cdot),j})P(S | H_{(\cdot),j})}, \quad (5)$$

где ap – обозначение апостериорной вероятности; $H_{(\cdot),l}$ – набор гипотез или альтернативных решений; S – событие, заключающееся в совместном появлении оценок $h_{(\cdot),l}(t)$ для (\cdot) .

3. Формирование мягкой нормы для результативного признака. Как и на предыдущем этапе, значение для $y_{k,i}(t)$ будет представляться набором пар чисел $(h_{y_{k,i},l}(t); \bar{p}_{y_{k,i},l}^{ap}(t))$, где вероятность $\bar{p}_{y_{k,i},l}^{ap}(t)$ можно определить по формуле, аналогичной (5):

$$\bar{p}_{y_{k,i},l}^{ap}(t) = \frac{P^a(h_{y_{k,i},l}(t-1))P(\tilde{h}_{y_{k,i},l}(t))}{\sum_{j=1}^J P^a(h_{y_{k,i},j}(t-1))P(\tilde{h}_{y_{k,i},j}(t))}. \quad (6)$$

Здесь $(t - 1)$ означает, что априорные представления для $y_{k,i}(t)$ получены в предыдущем периоде, а $P(\tilde{h}_{y_{k,i},l}(t))$ вычисляется посредством рекуррентного применения байесовской свертки:

$$P(\tilde{h}_{y_{k,i},l}(t)) = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J P^{ap}_{x_{k,i,j,l}}(h_{x_{k,i,j,l}}(t) | \bigcup_{s=1}^J h_{x_{k,i,s,l}}(t)). \quad (7)$$

В случае наличия двух влияющих факторов $P^{ap}_{x_{k,i,j,l}}(h_{x_{k,i,j,l}}(t) | \bigcup_{s=1}^J h_{x_{k,i,s,l}}(t))$ можно представить как:

$$P^{ap}_{x_{k,i,1,l}}(h_{x_{k,i,1,l}}(t) | h_{x_{k,i,2,l}}(t)) = \frac{P^{ap}(H_{x_{k,i,1,l}} | S)P^{ap}(H_{x_{k,i,2,l}} | S)}{\sum_{l=1}^L \sum_{q=1}^Q P^{ap}(H_{x_{k,i,1,l}} | S)P^{ap}(H_{x_{k,i,2,q}} | S)}, \quad (8)$$

где L, Q – значимые альтернативные значения для первого и второго фактора соответственно.

4. Расчет нормы для результативного признака. Значение нормы $\bar{y}_{k,i}(t)$ для времени t как средневзвешенное по вероятностям $\bar{p}_{y_{k,i},l}^{ap}(t)$:

$$\bar{y}_{k,i}(t) = \sum_{l=1}^L \tilde{h}_{y_{k,i},l}(t) \cdot \bar{p}_{y_{k,i},l}^{ap}(t). \quad (9)$$

При этом информация может поступать из различных источников, что накладывает ограничения в виде метрологических требований $\{MFlow_{k,i}(t)\}$. Кроме того, условия измерений $Conditions_{k,i}(t)$ также могут быть уникальными и зависеть от множества априорной информации A , ограничений и допущений O . Следовательно, в общем случае, представленные соотношения (для вероятностных сомножителей) необходимо дополнить выражением $\{\{MFlow_{k,i}(t)\} Conditions_{k,i}(t)\}$. Такую норму будем называть нормой четвертого типа $\bar{y}_{k,i,IV}(t)$.

3. Выбор норм с учетом приоритетов развития субъектов

Пусть имеется набор значений норм первого, второго, третьего и четвертого типа $(\bar{y}_{k,i,I}(t), \bar{y}_{k,i,II}(t), \bar{y}_{k,i,III}(t), \bar{y}_{k,i,IV}(t))$ для элементов k_i . Каждому k_i можно поставить в соответствие приоритет в виде ранга ($rank = 1..Rank \in N$), что с качественной стороны соответствует степени важности развития субъекта k в направлении i . Чем значимее i , тем выше приоритет. Приоритет можно определить на основании экспертных оценок, с использованием, например, метода попарного сравнения. Если, в качестве результативных признаков принять вклад в ВРП субъекта по виду деятельности (ОКВЭД), то

в качестве критерия ранжирования можно выбрать долю объема ВРП по разделу i , в общем объеме ВРП субъекта (региона). В этом случае для определения ранга целесообразно воспользоваться интервальной оценкой. Длина интервала, для каждого k субъекта определяется по формуле:

$$l = (d_{k,\max} - d_{k,\min}) / Rank, \quad (10)$$

где $d_{k,\max}$, $d_{k,\min}$ – максимальная и минимальная доли ВРП по ОКВЭД для субъекта k .

Тогда приоритет для элемента $k_i \rightarrow rank$, если выполняется условие:

$$d_{k,i} \in [d_{k,\min} + l \cdot (invrank - 1); d_{k,\min} + l \cdot invrank], \quad (11)$$

где $d_{k,i}$ – доля элемента k_i в ВРП по ОКВЭД i ;

$invrank$ – обратное ранжирование;

для первого приоритета в интервал включается $d_{k,\max}$.

Поскольку количество типов норм равно 4, то и число рангов будет соответственно 4 ($Rank = 4$) с термами приоритета: существенно важный, важный, неважный, существенно неважный. В случае рассмотрения только одного периода ранжирование норм будет осуществляться от большего к меньшему значению среди норм $\bar{y}_{k,i,m}(t)$ ($m = I, \dots, IV$). В случае установки норм на среднесрочный период, например, на период T_p , после последнего известного значения в период $t = T$, что встречается при формировании программ социально-экономического развития, то ранжирование рекомендуется осуществлять по агрегированному показателю $\bar{y}_{k,i,m}(t)$, который определяется как:

$$\bar{y}_{k,i,m} = \frac{1}{T_p} \sum_{t=T-T_p}^T \bar{y}_{k,i,m}(t), \quad (12)$$

где $y_{k,i}$ – фактическое значение показателя;

$\bar{y}_{k,i,m}(t)$ – значение нормы m типа.

Согласно этому критерию, можно осуществить выбор нормы для $y_{k,i}$.

4. Программные платформы «ЭФРА» и «Инфоаналитик 2.0»

Программная платформа «ЭФРА» является системой поддержки принятия решений на основе эконометрического моделирования и многоуровневого оптимизационного подхода [25]. Программная среда реализована на языке программирования Delphi и использованием базы данных MS SQL Server.

Работа с программным комплексом «ЭФРА» состоит из следующих этапов:

1. Загрузка данных.
2. Корреляционный и факторный анализ зависимостей.
3. Построение частных и интегральных индикаторов.
4. Оптимизация.

На первом этапе пользователь загружает данные из файла формата $xlsx$ или встроенной базы данных для последующей обработки.

Второй этап предусматривает:

1. Проведение корреляционного анализа. Включает расчет парных коэффициентов корреляции, t -статистики с указанием значимых коэффициентов для задаваемого пользователем уровнем значимости.

2. Факторный анализ зависимостей. Включает построение эконометрических моделей различной функциональной формы (линейная, экспоненциальная, степенная мультипликативная, логарифмическая на основе OLS) и проведение статистического оценивания моделей и их параметров на основе классических статистических тестов (Фишера – для оценки R^2 , Стьюдента – параметров модели, Фаррара–Глобера – мультиколлинеарности, Спирмена – проверки на гетероскедастичность). Кроме того, предусмотрена возможность осуществления прогноза результативных признаков на основании ожидаемых значений факторов, которые могут быть введены вручную или загружены из файла ($xlsx$ формат).

На третьем этапе рассчитываются частные (для элементов) и интегральные (для подсистем и системы в целом) показатели результативности и эффективности, а также коэффициенты гармоничности (показатели сбалансированности функционирования подсистем СЭЭС), которые дают возможность сделать вывод о характере состояния СЭЭС, ее подсистем и элементов в рассматриваемый период времени (если значение результативного признака больше единицы, то функционирование признается удовлетворительным, меньше – неудовлетворительным).

На четвертом этапе осуществляется решение оптимизационных задач с выбором типа ограничений, результатом которого является получение количественно выраженных изменений значений факторов, которые приведут к улучшению значе-

ний результативных признаков, то есть обеспечат их соответствие нормативам с заданной степенью отклонения с учетом накладываемых ограничений.

Первый и второй этапы работы с «ЭФРА» дают возможность построить нормы первого (при загрузке данных для совокупности k_i -тых элементов) и второго (для конкретного k_i элемента) типов.

Программная платформа «Инфоаналитик 2.0» также является системой поддержки принятия решений (язык разработки Python с интеграцией с MS SQL Server), которая базируется на методологии байесовских интеллектуальных измерений и методологии нечеткого логического вывода на основе разрешающих правил, что дает возможность вырабатывать рекомендации лицам, принимающим решения, в зависимости от состояния изучаемой сложной системы, визуализированной в виде иерархической информационной модели с возможностью включения режима аудита с когнитивной графикой (инфограммы).

Работа с программной платформой «Инофана-литик 2.0» состоит из следующих этапов:

1. Формирование структуры модели и загрузка данных.
2. Настройка шкал и расчет динамики.
3. Моделирование и прогноз.
4. Формирование рекомендаций.

На первом этапе осуществляется задание иерархической структуры модели, отображаемой в соответствующем фрейме программного модуля. Кроме того, осуществляется загрузка данных в программную среду, предусматривающая ручной ввод или загрузку из файла формата *xlsx* или *xml*. Введенные значения отображаются во вкладке «Данные». Во вкладке «Факторы» задается описание факторов. Каждый из введенных факторов визуализируется во фрейме как элемент иерархической информационной модели.

На втором этапе для каждого из факторов задается априорная шкала (реализуется формула (4)); генерируется апостериорная шкала (формула (5)); осуществляется расчет динамики (автоматически рассчитываются шкалы для всех заданных периодов времени); вычисляется интегральный или результирующий фактор (в данном случае используется для расчета норм четвертого типа) на основе формул (6)–(8). Результаты расчета апостериорных шкал и норм могут быть сохранены в файл (*xlsx*, *csv*, *xml* и *json* форматы), включающий значения

фактора, соответствующие им вероятности, термы (для лингвистических шкал) левую и правую границы возможных значений фактора. Априорные и апостериорные шкалы, динамика факторов и их интерпретация, метрологические характеристики отображаются в соответствующих фреймах интерфейса «Инфоаналитик 2.0».

На третьем этапе осуществляется моделирование и прогноз. Моделирование представляет собой аппроксимацию нечетких данных полиномами заданного пользователем порядка (OLS). Результатом такого моделирования являются три модели: наиболее вероятная модель, модели нижнего и верхнего уровней, последние из которых определяются порогом значимости для вероятностей термов (реперов) фактора. Прогноз включает задание горизонта прогнозирования, порядка производной и числа точек для расчета средних конечных разностей заданного порядка по фактическим или нечетким данным. Результат представляется в виде апостериорных числовых и лингвистических шкал, которые также могут быть сохранены файл.

Четвертый этап включает формирование рекомендаций, в том числе авторекомендаций (для каких факторов необходимо усилить или ослабить их влияние на результативный или интегральный признак) на основе встроенного алгоритма нечеткого вывода, предусматривающего сравнение вероятного попадания значения фактора в один из классов лингвистической шкалы (девять классов, начиная с предельно ниже нормы до предельно выше нормы).

Все расчеты записываются в базу данных MS SQL Server.

Каждый из этапов реализуется через соответствующие программные модули среды.

В данном исследовании «Инфоаналитик 2.0» применяется для построения норм третьего и четвертого типов, что подразумевает использование базового модуля (*main.py*) и модуля построения шкал (*Scale.py*).

5. Результаты реализации метода на примере областей Центрального федерального округа

Информационная база данного исследования представляет собой находящуюся в открытом доступе статистику по 17 субъектам ЦФО (не учитывая г. Москва). Источником является: «Регионы России. Социально-экономические показатели» [30] (опу-

бликованы на сайте Федеральной службой государственной статистики (далее – Росстат)); данные из Единой межведомственной информационной статистической системы (далее – ЕМИСС) [31]. Данные по ВРП для областей ЦФО в 2022 г. получены из [32], а валовая структура из [33]. Все стоимостные показатели были скорректированы на уровень инфляции [34] и приведены к уровню 2007 года в рамках гипотезы об инвариантности процессов относительно моделей [35]. Для построения динамических норм первого и второго типа были использованы эконометрические модели степенной мультипликативной формы. Результативными признаками (по ОКВЭД1) являются валовой региональный продукт (объем) по разделу «Сельское хозяйство» (раздел А) и ВРП по разделу «Добыча полезных ископаемых» (раздел С), образующие сырьевой сектор в соответствии с секторальной классификацией [8]. В качестве факторов выбраны: стоимость основных производственных фондов по полной учетной стоимости на конец года (млн руб.) и численность занятых (тыс. чел.). Такая структура модели аналогична классической модели Кобба–Дугласа. Базовый период оценки составил период с 2007 по 2022 гг., причем для каждой из моделей с целью улучшения их характеристик выбирались разные периоды, начиная с базового периода и заканчивая периодом 2020–2022 гг. Модели строились по объединенной по k ($k = 1, \dots, 17$) и t ($t = 2007, \dots, 2022$) выборке (по данным 17 областей ЦФО), а также по данным для каждой из 17 областей (всего 34 модели).

Общий вид моделей представлен формулой:

$$y_i = a_0 \cdot x_{i,1}^{a_1} \cdot x_{i,2}^{a_2} + \varepsilon. \quad (13)$$

Здесь y_i – объем ВРП;

$x_{i,1}$ – стоимость ОФ;

$x_{i,2}$ – ЧЗ;

a_i – коэффициенты модели;

ε – остатки для соответствующих по ОКВЭД1 разделов А и С;

$i = 1, 2$.

Модели оценивались как в целом, так и по ее параметрам по p -value. Результаты тестирования представлены на внешнем ресурсе и содержат ряд статистических тестов, включая: критерий Стьюдента (для оценки параметров моделей); Фишера (оценка коэффициента детерминации); классические тесты по ряду остатков (5 тестов), тестирование на гомоскедастичность [36].

На рисунках 1 и 2 в качестве демонстрации представлены фактические данные и результаты расчета нормативов четырех типов объема ВРП по разделам А (Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство) и С (Добыча полезных ископаемых) по ОКВЭД1 для Белгородской, Брянской, Владимирской и Воронежской областей Центрального

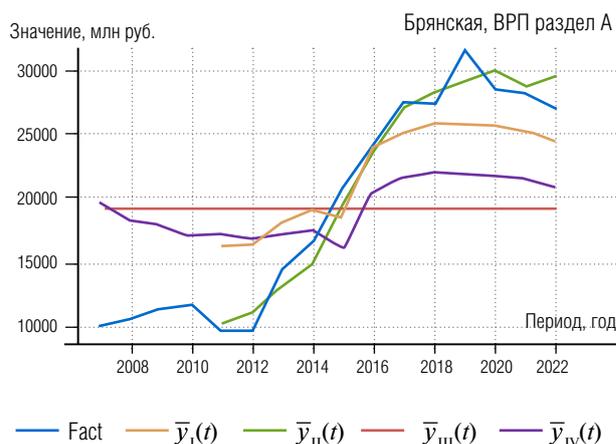
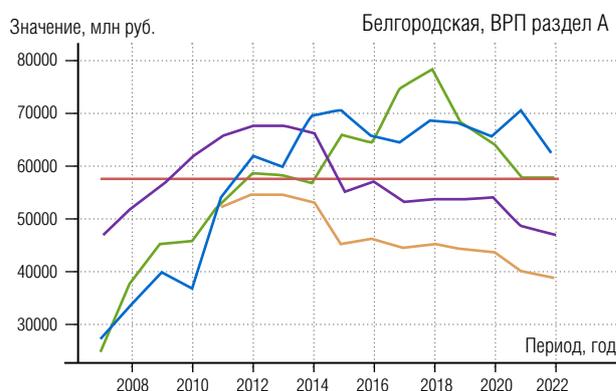


Рис. 1. Фактические и нормативные значения объема ВРП для разделов А и С Белгородской и Брянской областей
Fact – фактические значения показателя;
 $\bar{y}_I(t)$, $\bar{y}_{II}(t)$, $\bar{y}_{III}(t)$, $\bar{y}_{IV}(t)$ – нормы I, II, III и IV типов соответственно.

федерального округа. Начало линий соответствует начальному периоду, который был использован при построении моделей (13).

Из рисунков 1 и 2 видно, что динамика нормативов $\bar{y}_{k,i,I}(t)$ (модель построена на основе данных объединенной по k и t выборке) и $\bar{y}_{k,i,IV}(t)$ сходны. Для Брянской и Тамбовской областей вследствие отсутствия данных объем ВРП по разделу С не рассмотрен.

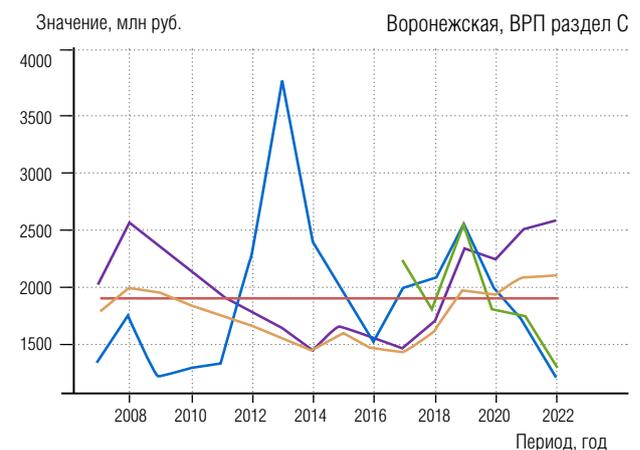
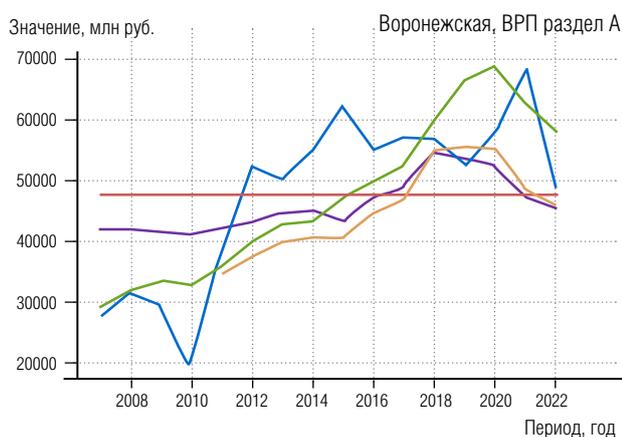
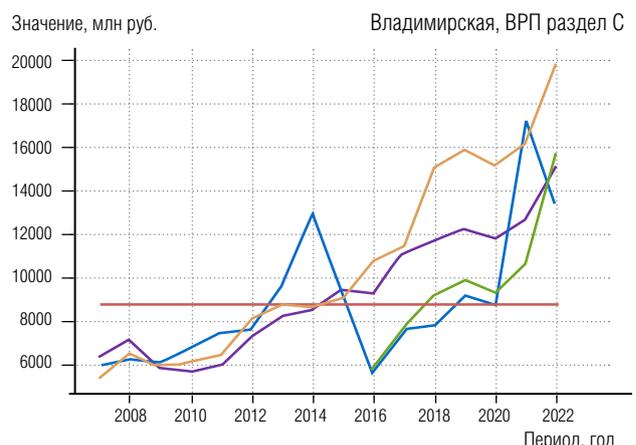
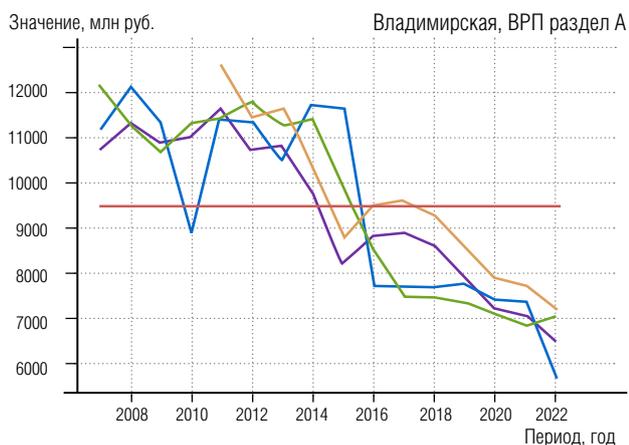
Для всех областей значения нормы второго типа ближе остальных к фактическим значениям.

Резкие скачки фактических значений ВРП для раздела С наблюдались в Белгородской области (2011 г.), Владимирской (2014 г. и 2021 г.), Воронежской (2013 г.) областях.

Аналогичная ситуация наблюдалась в Калужской (2015 г.), Костромской областях (2020 г.). Причем, для Калужской области наиболее высокие нормы на-

блюдались 2012 г. за три года до скачка в 2015 г. объема ВРП по разделу С. Можно предположить, что рост стоимости ОФ и численности занятых дали положительный эффект с запаздыванием на этот период.

В Московском регионе значение нормы первого типа существенно выше, если сравнивать с остальными областями Центрального федерального округа. То есть ожидался более высокий объем ВРП, поскольку Московская область обладает большим объемом основных фондов (в стоимостном выражении), а численность занятых в сельском хозяйстве соизмерима с численностью в Воронежской и Белгородской областях. Однако по фактическим данным можно судить о том, что рост ОФ при незначительном изменении численности занятых с 2016 по 2021 гг. не привел к существенному изменению ВРП, а следовательно увеличение основных фондов оказалось неэффективным.



— Fact — $\bar{y}_I(t)$ — $\bar{y}_{II}(t)$ — $\bar{y}_{III}(t)$ — $\bar{y}_{IV}(t)$

Рис. 1. Фактические и нормативные значения объема ВРП для разделов А и С Владимирской и Воронежской областей. Fact – фактические значения показателя; $\bar{y}_I(t)$, $\bar{y}_{II}(t)$, $\bar{y}_{III}(t)$, $\bar{y}_{IV}(t)$ – нормы I, II, III и IV типов соответственно.

На протяжении всего периода оценки (2007–2022 гг.) наблюдалась схожая картина в Тульском регионе.

В Ярославской области с 2017 по 2022 гг. наблюдалось снижение нормы первого типа, что связано со снижением стоимости основных производственных фондов (2017–2022 гг.) и численности занятых (2017–2021 гг.).

Кроме того, в 2022 г. во всех областях имело место снижение фактического объема ВРП по разделам А и С по отношению к 2021 г., что связано, в том числе, и внешнеполитическими причинами. Это отразилось и на значениях норм всех типов для большинства областей ЦФО. То есть, разработанные нормы чувствительны к конкретным условиям функционирования регионов, что обосновывает целесообразность их использования при оценке результатов деятельности субъектов экономики.

Рекомендованные типы норм для областей ЦФО для разделов А (Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство) и С (Добыча полезных ископаемых) по ОКВЭД1 были определены в соответствии с предложенной методикой их выбора

с использованием формул (10) и (11) по данным 2022 г. Результаты представлены в *таблице 1*.

Таким образом, представлен метод формирования нормативов результатов функционирования сложных систем, дающий возможность учитывать как специфические условия, так и приоритеты.

6. Обсуждение

Метод может быть применен для оценки, анализа и принятия решений функционирования конкретных бизнес-субъектов: предприятий, организаций и их подразделений, действующих в условиях неопределенности и разнородности информации. Действительно, в настоящее время в задачах бизнеса и экономики в целом актуализировались вопросы, связанные с оценкой и мониторингом показателей, для которых нормативные уровни не определены.

К ним относятся, прежде всего, интегральные показатели, определяющие состояние и динамику сложных объектов и систем; индикаторы, зависящие от множества факторов, ряд из которых не могут быть количественно выражены и включены в традиционные модели, а также качественные показатели.

Таблица 1.

Ранги (приоритеты) и типы норм для областей Центрального федерального округа

N	Область	Раздел А			Раздел С		
		Приоритет (ранг)	Доля в структуре ВРП в области	Тип нормы	Приоритет (ранг)	Доля в структуре ВРП в области	Тип нормы
1	Белгородская	2	15,7%	$\bar{Y}_{1,1,III}$	1	21,5%	$\bar{Y}_{1,2,II}$
2	Брянская	1	18,1%	$\bar{Y}_{2,1,II}$	4	0,0%	–
3	Владимирская	4	3,0%	$\bar{Y}_{3,1,IV}$	4	0,7%	$\bar{Y}_{3,2,III}$
4	Воронежская	1	16,2%	$\bar{Y}_{4,1,II}$	4	0,4%	$\bar{Y}_{4,2,II}$
5	Ивановская	4	3,0%	$\bar{Y}_{5,1,IV}$	4	0,2%	$\bar{Y}_{5,2,III}$
6	Калужская	4	6,2%	$\bar{Y}_{6,1,I}$	4	0,3%	$\bar{Y}_{6,2,I}$
7	Костромская	3	7,1%	$\bar{Y}_{7,1,IV}$	4	0,2%	$\bar{Y}_{7,2,III}$
8	Курская	1	18,2%	$\bar{Y}_{8,1,II}$	2	10,1%	$\bar{Y}_{8,2,II}$
9	Липецкая	3	10,0%	$\bar{Y}_{9,1,III}$	4	0,6%	$\bar{Y}_{9,2,III}$
10	Московская	4	1,5%	$\bar{Y}_{10,1,II}$	4	0,1%	$\bar{Y}_{10,2,II}$
11	Орловская	1	23,5%	$\bar{Y}_{11,1,II}$	4	0,1%	$\bar{Y}_{11,2,I}$
12	Рязанская	3	9,8%	$\bar{Y}_{12,1,IV}$	4	0,2%	$\bar{Y}_{12,2,IV}$
13	Смоленская	4	4,0%	$\bar{Y}_{13,1,IV}$	4	0,2%	$\bar{Y}_{13,2,II}$
14	Тамбовская	1	30,3%	$\bar{Y}_{14,1,II}$	4	0,0%	–
15	Тверская	4	5,2%	$\bar{Y}_{15,1,IV}$	4	0,2%	$\bar{Y}_{15,2,IV}$
16	Тульская	4	6,5%	$\bar{Y}_{16,1,III}$	4	0,6%	$\bar{Y}_{16,2,IV}$
17	Ярославская	4	4,0%	$\bar{Y}_{17,1,IV}$	4	0,2%	$\bar{Y}_{17,2,IV}$

Это затрудняет формирование нормативов. Кроме того, информационные аспекты определения таких норм усложняются в связи со значительной неопределенностью, связанной с неточностью, неполнотой и нечеткостью исходных данных, их разнотипностью, а также распределенностью в пространстве и во времени. Оказывает значительное влияние также ситуационная неопределенность, присущая современным бизнес-системам и экономике.

В качестве примеров можно привести следующие показатели.

Уровень конкурентоспособности предприятия. Этот сложный неколичественный показатель определяется, как правило, рейтингом предприятия в соответствующих рейтинговых агентствах. Для его определения агентства используют количественную информацию балансовых отчетов предприятия, которая является, как известно, неполной и неточной в реальной практике. Кроме того, нормативы, которыми пользуются агентства, являются их собственными, рассчитанными по разработанным ими методикам. Поэтому оценки конкурентоспособности получаются различными и необъективными. В связи с этим в работе предлагаются подходы, в частности использование норм первого типа, позволяющих рассчитывать нормативы, учитывающие условия, в которых функционируют как оцениваемый субъект экономики, так и его окружение (конкуренты).

Эффективность бизнеса. Классический подход к определению этого показателя предполагает вычисление ключевых показателей эффективности (КПИ), выраженных в количественной форме. Однако не все показатели, определяющие эффективность бизнеса, могут иметь постоянные нормативы. Например, показатель устойчивости предприятия как в отношении объемов выпускаемой продукции, так и в отношении численности работающих. Такие показатели имеют динамический характер, поэтому нормативы для них должны определяться в зависимости от складывающейся производственной ситуации. Так, численность работающих на малых и средних предприятиях может варьироваться именно для поддержания высокого уровня эффективности бизнеса. Динамические интервальные (мягкие) нормативы (нормы четвертого типа), предлагаемые в работе, позволяют точнее и достовернее определять этот интегральный показатель.

Объем продаж. Этот показатель зависит от многочисленных факторов, таких как сезонность, рыноч-

ная ситуация, имиджевые характеристики свойств товаров и предприятия, которые также не определяются конкретным числом, а могут быть установлены только в определенных пределах. В этом случае, интервальные динамические нормы, определяемые нормой четвертого типа без взвешивания, могут быть очень полезны.

Удовлетворенность потребителя. Это – сложный динамический показатель, на который оказывает сильное влияние рыночная конъюнктура. Поэтому также необходимы мягкие динамические нормы.

В дальнейшем предложенные нормы предполагается использовать при построении оптимизационных моделей, позволяющих найти наиболее выгодные с точки зрения бизнеса изменения факторов, приводящих к улучшению целевых показателей функционирования субъектов экономики. Это даст возможность менеджерам различных уровней усилить обоснование принимаемых решений.

Заключение

В настоящей статье представлен метод формирования динамических нормативов сложных систем с учетом приоритетов развития на базе эконометрического моделирования и методологии байесовских интеллектуальных измерений.

Применение метода для областей Центрального федерального округа по данным за 2007–2022 гг. на базе программных платформ «ЭФРА» и «Инфоаналитик 2.0» подтвердило возможность конструирования норм (4 типа) с учетом факторов, влияющих на результаты функционирования элементов системы, в том числе в условиях неполноты и нечеткости данных.

Результаты исследования могут быть полезны региональным органам управления при анализе ситуаций, формировании программ социально-экономического развития в части установления плановых показателей на краткосрочный и среднесрочный периоды, а также для синтеза решений, в том числе с применением оптимизационных моделей, направленных на обеспечение устойчивого развития государства и его субъектов. ■

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-20020¹ и Тульской области.

¹ <https://rscf.ru/project/24-28-20020/>

Литература

1. Жуков Р.А. Социо-эколого-экономические системы: теория и практика. М.: ИНФРА-М, 2019. https://doi.org/10.12737/monography_5b7516626665a8.43347695
2. Жуков Р.А. Моделирование развития иерархических социально-экономических систем на основе многоуровневого оптимизационного подхода. Дисс. ... д-ра экон. наук. М., 2023.
3. Андреев А.В. Теоретические основы надежности технических систем / учебное пособие / А.В. Андреев, В.В. Яковлев, Т.Ю. Короткая. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018.
4. Техническое регулирование: технические регламенты и стандартизация: учебное пособие / сост. И.Ю. Матушкина, Л.А. Онищенко. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018.
5. Белик А.Г. Качество и надежность программных систем: учеб. пособие / А.Г. Белик, В.Н. Цыганенко; Минобрнауки России, ОмГТУ. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018.
6. He D., Kang Hou K., Li X.X., Wu S.Q., Ma L.X. A reliable ecological vulnerability approach based on the construction of optimal evaluation systems and evolutionary tracking models // *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 419. 138246. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138246>
7. Мезенина О.Б. Экономика природопользования: экономическая эффективность природоохранных затрат промышленного предприятия: учебное пособие. Екатеринбург: УГЛУТУ, 2023.
8. Дмитриев В.В., Календин Н.В. Интегральная оценка состояния региональных социо-эколого-экономических систем и качества жизни населения (на примере субъектов Северо-западного федерального округа России) // *Балтийский регион*. 2016. Т. 8. № 2. С. 125–140. <https://doi.org/10.5922/2074-9848-2016-2-7>
9. Клейнер Г.Б., Рыбачук М.А. Системная сбалансированность экономики России. Региональный разрез // *Экономика региона*. 2019. Т. 15. № 2. С. 309–323. <https://doi.org/10.17059/2019-2-1>
10. Палаш С.В. Структурная сбалансированность экономики: государственные программы промышленного развития в Российской Федерации // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Экономические науки*. 2017. Т. 10. № 1. С. 53–72. <https://doi.org/10.18721/JE.10105>
11. 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. P. 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.002>
12. Оценка эффективности регионов РФ с учетом интеллектуального капитала, характеристик готовности к инновациям, уровня благосостояния и качества жизни населения / В.Л. Макаров и [др.] // *Экономика региона*. 2014. № 4. С. 9–30. <https://doi.org/10.17059/2014-4-1>
13. Методы оценки технической эффективности регионов Сибирского федерального округа с использованием кривой производственных возможностей / А.А. Михальчук и [др.] // *Вестник НГУЭУ*. 2022. № 4. С. 76–91. <https://doi.org/10.34020/2073-6495-2022-4-076-091>
14. Mishra S.K. A brief history of production functions // *The UIP Journal of Managerial Economics*, UIP Publications. 2010. Vol. 8. No. 4. P. 6–34.
15. Construction of an aggregated production function with implementation based on the example of the regions of the Central federal district of the Russian Federation / R.A. Zhukov [et al.] // *Business Informatics*. 2022. Vol. 16. No. 3. P. 7–23. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.3.7.23>
16. Zhukov R. Balanced functioning of socio-economic systems: regional perspective / R. Zhukov [et al.] // *Journal of Law and Sustainable Development*. 2023. Vol. 11. No. 12. e1922. <https://doi.org/10.55908/sdgs.v11i12.1922>
17. Pedroza C. A Bayesian forecasting model: predicting U.S. male mortality // *Biostatistics*. 2006. Vol. 7. No. 4. P. 530–550. <https://doi.org/10.1093/biostatistics/kxj024>
18. Long K.Q. Clustering lifestyle risk behaviors among Vietnamese adolescents and roles of school: A Bayesian multilevel analysis of global school-based student health survey 2019 / K.Q. Long, H.T. Ngoc-Anh, N.H. Phuong et al. // *The Lancet Regional Health – Western Pacific*. 2021. Vol. 15. 100225. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2021.100225>
19. Gallardo M. Measuring vulnerability to multidimensional poverty with Bayesian network classifiers // *Economic Analysis and Policy*. 2022. Vol. 73. P. 492–512. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2021.11.018>
20. Прокопчина С.В. Мягкие вычисления и измерения. Методы, информационные технологии и средства интеллектуальной обработки информации в задачах цифровизации: монография. М.: Научная библиотека, 2019.
21. Прокопчина С.В., Щербаков Г.А., Ефимов Ю.В. Моделирование социально-экономических систем в условиях неопределенности: учебное пособие. М.: Научная библиотека, 2019.
22. Березин А.С., Жуков Р.А., Прокопчина С.В. Байесовские интеллектуальные измерения индексов и показателей региональной обеспеченности объектами культуры // *Мягкие измерения и вычисления*. 2022. Т. 53. № 4. С. 5–15. <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2022.04.001>
23. О динамике смертности в Тульской области / Р.А. Жуков [и др.] // *Мягкие измерения и вычисления*. 2022. Т. 60. № 11-2. С. 30–38. <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2022.11-2.003>
24. Модель ценностного мира российской молодежи на основе байесовских интеллектуальных измерений / Р.А. Жуков [и др.] // *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)*. 2024. Т. 15. № 1. С. 96–114. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2024.15.1.96-114>

25. 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. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2020.3.82.95>
26. Жуков Р.А., Прокопчина С.В. Программный комплекс «Инфоаналитик 2.0». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024617544 от 03.04.2024. [Электронный ресурс]: <https://fips.ru/EGD/0b443bd3-982b-41db-a413-b1b035d9c596> (дата обращения 24.10.2024).
27. Жуков Р.А. Метод оценки результатов функционирования иерархических социально-экономических систем на основе агрегированной производственной функции // Экономика и математические методы. 2021. Т. 57. № 3. С. 17–31. <https://doi.org/10.31857/S042473880016428-9>
28. Multi-criteria optimization as the methodology of ensuring sustainable development of regions: Tula region of the Russian Federation / R.A. Zhukov [et al.] // International Journal of Sustainable Development and Planning. 2023. Vol. 18. No. 4. P. 1057–1068. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.180408>
29. Прокопчина С.В. Основы теории шкалирования в экономике: учебное пособие. М.: Научная библиотека, 2021.
30. Регионы России. Социально-экономические показатели // Федеральная служба государственной статистики, 2024. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения 24.10.2024).
31. Единая межведомственная информационная статистическая система (ЕМИСС) // ЕМИСС – Государственная статистика, 2024. [Электронный ресурс]: <https://www.fedstat.ru/> (дата обращения 24.10.2024).
32. Рейтинг социально-экономического развития регионов в 2022 году // Сетевое издание «Реальное время», 2024. [Электронный ресурс]: <https://realnoevremya.ru/attachments/1760> (дата обращения 24.10.2024).
33. Валовая структура регионального продукта в 2022 г. // ЕМИСС – Государственная статистика, 2024. [Электронный ресурс]: <https://www.fedstat.ru/indicator/59450> (дата обращения 24.10.2024).
34. Таблицы инфляции // уровень-инфляции.рф, 2024. [Электронный ресурс]: <https://уровень-инфляции.рф/таблицы-инфляции> (дата обращения 24.10.2024).
35. Жуков Р.А., Плинская М.А., Манохин Е.В. Оценка функционирования регионов на основе производственных функций с приведенными стоимостными факторами // Journal of Applied Economic Research. 2023. Т. 22. № 3. С. 657–682. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2023.22.3.027>
36. Результаты тестирования моделей. [Электронный ресурс]: <https://disk.yandex.ru/i/CJFtrRDuWYsdsq> (дата обращения 24.10.2024).

Об авторах

Жуков Роман Александрович

д.э.н., к.ф.-м.н., доц.;

научный сотрудник, профессор, кафедра «Математика и информатика», Тульский филиал Финансового университета при Правительстве РФ, Россия, 300012, г. Тула, ул. Оружейная, д. 1-а;

E-mail: pluszh@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2280-307X

Прокопчина Светлана Васильевна

д.т.н., проф.;

профессор, кафедра моделирования и системного анализа, факультет информационных технологий и анализа больших данных, Финансовый университет при Правительстве РФ, Россия, 125167, г. Москва, Ленинградский пр-т, д. 49;

E-mail: svprokopchina@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5500-2781

Плинская Мария Александровна

магистрант, Тульский филиал Финансового университета при Правительстве РФ, Россия, 300012, г. Тула, ул. Оружейная, д. 1-а;

E-mail: maria.plinskaya@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1307-0935

Желунцица Мария Анатольевна

магистрант, Тульский филиал Финансового университета при Правительстве РФ, Россия, 300012, г. Тула, ул. Оружейная, д. 1-а;

E-mail: maria202001@yandex.ru

ORCID: 0009-0006-3129-2749

Building a system of dynamic norms for evaluating the functioning of complex systems on the example of the regions of the Central Federal District

Roman A. Zhukov^a

E-mail: pluszh@mail.ru

Svetlana V. Prokopchina^b

E-mail: svprokopchina@mail.ru

Maria A. Plinskaya^a

E-mail: maria.plinskaya@gmail.com

Maria A. Zhelunitsina^a

E-mail: maria202001@yandex.ru

^a Financial University under the Government of the Russian Federation, Tula Branch, Tula, Russia

^b Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Abstract

In this paper, we present a method of forming norms for evaluating the results of the functioning of complex systems applicable to socio-ecological and economic systems, taking into account the priorities of the development of the regions of the Russian Federation. The methodology involves the selection of normative values from a set of norms based on two methods: the first is based on the construction of econometric models using statistical data for a set of subjects (the first type) and for one selected subject (the second type). The second method uses the methodology of Bayesian intelligent measurements based on the regularizing Bayesian approach (the third and fourth types). Depending on the result of the calculations, a norm is selected that gives a higher (in the case of high priority), average (in the case of medium priority) and lower (in the case of low priority) normative value of the evaluated effective features characterizing the development of the subject. The implementation of the method is demonstrated by the example of the regions of the Central Federal District, including the Tula Region, for which econometric and fuzzy models of the relationship between the volume of gross regional product with the value of fixed assets and the number of employees for sections A (Agriculture, forestry, hunting, fishing and fish farming) and C (Mining) according to OKVED1 are constructed, forming the raw materials sector according to data for 2007–2022. The EFRA and Infoanalyst 2.0 software platforms are used as tools. The results obtained can be used by regional authorities in the formation of norms to assess the results of the functioning of the regions in the short and medium term.

Keywords: econometric model, fuzzy model, Bayesian intellectual measurements, norm, software platform, socio-ecological and economic system

Citation: Zhukov R.A., Prokopchina S.V., Plinskaya M.A., Zhelunitsina M.A. (2024) Building a system of dynamic norms for evaluating the functioning of complex systems on the example of the regions of the Central Federal District. *Business Informatics*, vol. 18, no. 4, pp. 46–60. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.46.60

References

1. Zhukov R.A. (2019) *Socio-ecological-economic systems: Theory and practice*. Moscow: INFRA-M (in Russian). https://doi.org/10.12737/monography_5b7516626665a8.43347695
2. Zhukov R.A. (2023) *Modeling the development of hierarchical socio-economic systems based on a multi-level optimization approach*. Moscow: Financial University under the Government of the Russian Federation (in Russian).
3. Andreev A.V. (2018) *Theoretical foundations of reliability of technical systems*. St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University (in Russian).
4. Matushkina I.Y., Onishchenko L.A. (2018) *Technical regulation: technical regulations and standardization: a textbook*. Yekaterinburg: Ural University Publishing House (in Russian).
5. Belik A.G. (2018) *Quality and reliability of software systems: textbook*. Omsk: Publishing House of OmSTU (in Russian).
6. He D., Kang Hou K., Li X.X., Wu S.Q., Ma L.X. (2023) A reliable ecological vulnerability approach based on the construction of optimal evaluation systems and evolutionary tracking models. *Journal of Cleaner Production*, vol. 419, 138246. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138246>
7. Mezenina O.B. (2023) *Economics of environmental management: economic efficiency of environmental protection costs of an industrial enterprise: a textbook*. Yekaterinburg, UGLTU (in Russian).
8. Dmitriev V.V., Kaledin N.V. (2016) Russian Northwest: An integral assessment of the conditions of regional social, environmental and economic systems and quality of life. *Baltic Region*, vol. 8, no. 2, pp. 125–140 (in Russian). <https://doi.org/10.5922/2074-9848-2016-2-7>
9. Kleiner G.B., Rybachuk M.A. (2019) System balance of the Russian economy: Regional perspective. *Economy of Region*, vol. 15, no. 2, pp. 309–323 (in Russian). <https://doi.org/10.17059/2019-2-1>
10. 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). <https://doi.org/10.18721/JE.10105>
11. 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, pp. 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.002>
12. Makarov V.L., Aivazyazyan S.H., Afanasiev M.Yu., Bakhtizin A.R., Nanavyan A.M. (2014) The estimation of the regions' efficiency of the Russian Federation including the intellectual capital, the characteristics of readiness for innovation, level of well-being, and quality of life. *Economy of Region*, vol. 4, pp. 9–30 (in Russian). <https://doi.org/10.17059/2014-4-1>
13. Mikhailchuk A.A., Chistyakova N.O., Akerman E.A., Tatarnikova V.V. (2022) Evaluation methods of the technical efficiency of the Siberian Federal District regions using the production possibilities curve. *Vestnik NSUEM*, no. 4, pp. 76–91 (in Russian). <https://doi.org/10.34020/2073-6495-2022-4-076-091>
14. Mishra S.K. (2010) A brief history of production functions. *The UIP Journal of Managerial Economics, UIP Publications*, vol. 8, no. 4, pp. 6–34.
15. Zhukov R.A., Kozlova N.A., Manokhin E.V., Plinskaya M.A. (2022) Construction of an aggregated production function with implementation based on the example of the regions of the Central Federal District of the Russian Federation. *Business Informatics*, vol. 16, no. 3, pp. 7–23. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.3.7.23>
16. Zhukov R., Kuznetsov G., Manokhin E., Gorodnichev S., Plinskaya M. (2023) Balanced functioning of socio-economic systems: regional perspective. *Journal of Law and Sustainable Development*, vol. 11, no. 12, e1922. <https://doi.org/10.55908/sdgs.v11i12.1922>
17. Pedroza C. (2006) A Bayesian forecasting model: predicting U.S. male mortality. *Biostatistics*, vol. 7, no. 4, pp. 530–550.
18. Long K.Q. (2021) Clustering lifestyle risk behaviors among Vietnamese adolescents and roles of school: A Bayesian multilevel analysis of global school-based student health survey 2019 / K.Q. Long, H.T. Ngoc-Anh, N.H. Phuong et al. *The Lancet Regional Health – Western Pacific*, vol. 15, 100225. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2021.100225>
19. Gallardo M. (2022). Measuring vulnerability to multidimensional poverty with Bayesian network classifiers. *Economic Analysis and Policy*, vol. 73, pp. 492–512. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2021.11.018>
20. Prokopchina S.V. (2019) *Soft calculations and measurements. Methods, information technologies and means of intellectual information processing in digitalization tasks: monograph*. Moscow: Scientific Library (in Russian).
21. Prokopchina S.V., Shcherbakov G.A., Efimov Yu.V. (2019) *Modeling of socio-economic systems in conditions of uncertainty*. Moscow: Scientific Library (in Russian).
22. Berezin A.S., Zhukov R.A., Prokopchina S.V. (2022) Bayesian intellectual measurements of indices and indicators of regional availability of cultural objects. *Soft Measurement and Computing*, vol. 53, no. 4, pp. 5–15 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2022.04.001>
23. Zhukov R.A., Grigoriev E.V., Plinskaya M.A., Zhelunitsina M.A. (2022) On the dynamics of mortality in the Tula region. *Soft Measurement and Computing*, vol. 60, no. 11-2, pp. 30–38 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2022.11-2.003>
24. Zhukov R.A., Prokopchina S.V., Bormotov I.V., Manokhin E.V., Rudneva I.D. (2024) The model of the value system of Russian youth based on Bayesian intellectual measurements. *MIR (Modernization. Innovation. Research)*, vol. 15, no. 1, pp. 96–114 (in Russian). <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2024.15.1.96-114>

25. 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. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2020.3.82.95>
26. Zhukov R.A., Prokopchina S.V. *The Infoanalyst 2.0 software package. Certificate of state registration of the computer program No. 2024617544 dated 04.03.2024*. Available at: <https://fips.ru/EGD/0b443bd3-982b-41db-a413-b1b035d9c596> (accessed 24 October 2024) (in Russian).
27. Zhukov R.A. (2021) Method for assessing the results of hierarchical socio-economic systems' functioning based on the aggregated production function. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 57, no. 3, pp. 17–31 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S042473880016428-9>
28. Zhukov R.A., Kozlova N.O., Manokhin E.V., Myasnikova E.B., Melay E.A. (2023) Multi-criteria optimization as the methodology of ensuring sustainable development of regions: Tula region of the Russian Federation. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, vol. 18, no. 4, pp. 1057–1068. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.180408>
29. Prokopchina S.V. (2021) *Fundamentals of the theory of scaling in economics: textbook*. Moscow: Scientific Library (in Russian).
30. Federal State Statistics Service (2024) *Regions of Russia. Socio-economic indicators*. Available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (accessed 24 October 2024) (in Russian).
31. *Unified Interdepartmental Information and Statistical System (EMISS)*. Available at: <https://www.fedstat.ru> (accessed 24 October 2024) (in Russian).
32. *Rating of socio-economic development of regions in 2022*. Available at: <https://realnoevremya.ru/attachments/1760> (accessed 24 October 2024) (in Russian).
33. *The gross structure of the regional product in 2022*. Available at: <https://www.fedstat.ru/indicator/59450> (accessed 24 October 2024) (in Russian).
34. *Tables of inflation*. Available at: <https://уровень-инфляции.рф/таблицы-инфляции> (accessed 24 October 2024) (in Russian).
35. Zhukov R.A., Plinskaya M.A., Manokhin E.V. (2022) Assessment of the regions functioning based on production functions with the above cost factors. *Journal of Applied Economic Research*, vol. 22, no. 3, pp. 657–682. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2023.22.3.027>
36. *The results of model testing*. Available at: <https://disk.yandex.ru/i/CJFtrRDuWYsdsg> (accessed 24 October 2024) (in Russian).

About the authors

Roman A. Zhukov

Dr. Sci. (Econ.), Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.;

Researcher, 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

Svetlana V. Prokopchina

Dr. Sci. (Tech.), Prof.;

Professor, Department of Modeling and System Analysis, Faculty of Information Technology and Big Data Analysis, Financial University under the Government of the Russian Federation, 49, Leningradsky Prospekt, Moscow 125167, Russia;

E-mail: svprokopchina@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5500-2781

Maria A. Plinskaya

Master Student, Financial University under the Government of the Russian Federation, Tula Branch, 1a, Oruzheynaya Street, Tula 300012, Russia;

E-mail: maria.plinskaya@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1307-0935

Maria A. Zhelunitsina

Master Student, Financial University under the Government of the Russian Federation, Tula Branch, 1a, Oruzheynaya Street, Tula 300012, Russia;

E-mail: maria202001@yandex.ru

ORCID: 0009-0006-3129-2749