

Научная статья

УДК 519.2; 314.7

DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2024.03.03.007

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕГИОНАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА: ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ

**Роман Александрович Жуков¹, Светлана Васильевна Прокопчина²,
Надежда Олеговна Козлова³, Мария Александровна Плинская⁴,
Мария Анатольевна Желункина⁵, Маргарита Анатольевна Королева⁶**

**^{1, 3, 4, 5, 6} Финансовый университет при Правительстве
Российской Федерации (Тульский филиал), Тула, Россия**

**² Финансовый университет при Правительстве
Российской Федерации, Москва, Россия**

¹ pluszh@mail.ru

² svprokopchina@mail.ru

³ 95kno@mail.ru

⁴ maria.plinskaya@gmail.com

⁵ maria202001@yandex.ru

⁶ ritakoroleva48@mail.ru

Аннотация. Целью исследования является оценка результативности миграционных процессов в субъектах Центрального федерального округа на основе авторской методологии, позволяющей сформировать частные и интегральные индикаторы, учитывающие конкретные условия функционирования субъектов и включающие динамические нормативы.

Ключевые слова: число прибывших, число выбывших, региональная специфика, частные и интегральные показатели результативности, модель.

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Правительства Тульской области (договор ДС/123 от 27.09.2023).

Для цитирования: Жуков Р. А., Прокопчина С. В., Козлова Н. О., Плинская М. А., Желункина М. А., Королева М. А. Моделирование миграционных процессов в регионах центрального федерального округа: оценка результативности // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. № 3. Т. 3. С. 52–64; <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.03.03.007>

Original article

Economic and social development of the regions

MODELING OF MIGRATION PROCESSES IN THE REGIONS OF THE CENTRAL FEDERAL DISTRICT: PERFORMANCE ESTIMATION

Roman A. Zhukov¹, Svetlana V. Prokopchina², Nadezhda O. Kozlova³,
Maria A. Plinskaya⁴, Maria A. Zhelunitsina⁵, Margarita A. Koroleva⁶

© Жуков Р. А., Прокопчина С. В., Козлова Н. О., Плинская М. А., Желункина М. А., Королева М. А., 2024

^{1, 3, 4, 5, 6} Financial University under the Government
of the Russian Federation (Tula Branch), Tula, Russia

² Financial University under the Government
of the Russian Federation, Moscow, Russia

¹ pluszh@mail.ru

² svprokopchina@mail.ru

³ 95kno@mail.ru

⁴ maria.plinskaya@gmail.com

⁵ maria202001@yandex.ru

⁶ ritakoroleva48@mail.ru

Abstract. *The purpose of the investigation is to estimate the performance of migration processes in the subjects of the Central Federal District on the basis of the author's methodology, which allows to form partial and integral indicators that take into account the specific conditions of the functioning of the subjects and include dynamic norms.*

Keywords: *arrivals, departures, regional specifics, partial and integral performance indicators, model.*

Acknowledgments: research was carried out on the account of the grant from the head of the Tula region (agreement DS/123 dated September 27, 2023).

For citation: Zhukov R. A., Prokopchina S. V., Kozlova N. O., Plinskaya M. A., Zhelunitsina M. A., Koroleva M. A. Modeling of migration processes in the regions of the central federal district: performance estimation. *Ekonomika i upravlenie: problemy resheniya*. 2024. Vol. 3. No. 3. P. 52-64; <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.03.03.007>

Введение. Движение населения связано с рядом экономических, социальных, политических, экологических процессов. Например, возникновение экономической нестабильности может привести к снижению уровня жизни граждан, высокой безработице и инфляции, поиску лучших условий труда, и эти факторы побуждают население к смене географического положения.

Осуществление государственной политики в своей мере оказывает влияние на миграционные процессы. Политические конфликты и возникающие на этой почве войны вынуждают людей покидать свое место пребывания по причине необходимости сохранения своей безопасности и текущего образа жизни.

Программы социальной поддержки граждан, социально-культурные особенности также играют роль в перемещении населения, например, браки с иностранцами, общественные волнения, качество мер поддержки многодетных семей и др.

Экологические проблемы, такие как изменение климата, природные катастрофы и нерациональное использование природных ресурсов, могут стимулировать миграционные процессы. Люди вынуждены покидать свои дома из-за не-

возможности обеспечить себя достаточным количеством пищи, воды и жилья.

Таким образом, изучение миграционных процессов является актуальным и важным моментом для понимания и преодоления вызовов, которые они представляют для страны, а также для разработки более эффективных стратегий управления данным процессом с целью обеспечения безопасности и дальнейшего устойчивого развития государства и повышения благополучия граждан.

Необходимость изучения миграции диктуется потребностью органов государственного управления в определении проблемных мест при осуществлении своей деятельности, в том числе при разработке мероприятий, направленных на снижение миграционной напряженности в субъектах Российской Федерации. Нельзя при этом с полной уверенностью говорить о том, что увеличение или снижение миграционных потоков приводит к положительным или отрицательным эффектам, поскольку это зависит не только от специфических условий функционирования субъектов Российской Федерации, но и потребностей субъектов в людях определенных категорий. В этом аспекте должен быть некоторый ориентир, норматив, достижение которого можно соотнести с приемлемым, удовлетворительным

функционированием административно-территориальной единицы с точки зрения общей потребности совокупности субъектов. В случае, если существует такой норматив, то можно оценить результативность изучаемых процессов в конкретных регионах с учетом их специфики.

Таким образом, целью исследования является оценка результативности функционирования субъектов Центрального федерального округа на базе построенных моделей миграционных процессов, учитывающих особенности конкретных регионов.

Объектом исследования являются миграционные процессы.

Предметом исследования выступают факторы, влияющие на миграционные процессы.

Степень проработанности проблемы. Каждый из подходов к исследованию миграции акцентирует свое внимание на конкретных особенностях миграционного процесса, их влияние на изменение сфер общественной жизни. Часто используемыми моделями при исследовании переселения людей являются гравитационные модели, марковские цепи, метод клеточных автоматов, регрессионные модели [1].

Среди ученых, которые внесли вклад в изучение миграционных процессов, выделяют Э. Г. Равенштейна. В конце XIX века его статьи определили понятийный аппарат миграции и заложили начало разработке классификации миграционных процессов. Ему обычно приписывают создание теорий миграции на расстоянии и пространственного взаимодействия, а более поздние теории расширились за счет «толкающих» и «притягивающих» факторов миграции. На основе 11 законов Равенштейна миграции в XX веке базировались многие западные миграционные модели. К упомянутым законам миграции относятся следующие: основное количество миграций происходит на небольшие расстояния; большинство дальних миграций направлены в крупные торговые и промышленные центры; каждый поток миграции имеет свой противоположный поток; горожане менее склонны к миграции, чем сельские жители; большинство мигрантов – взрослое население; семьи редко переезжают за пределы своей страны; рост крупных городов в основном обусловлен миграцией населения, а не естественным приростом; масштабы миграции увеличиваются с развитием промышленности, торговли и транспорта.

В моделировании миграционных процессов достаточно часто используется гравитационная модель. Гравитационная модель миграции – это разработанная Д. Стюартом концептуальная модель, которая основана на аналогии с законом гравитации в физике. Она предполагает, что миграционный поток между двумя местами зависит от их расстояния и численности населения, а также от различных социально-экономических факторов [2]. Модель помогает улучшить понимание влияния этих факторов и использовать эту информацию для разработки программ в области миграционной политики.

Согласно рассматриваемой концепции, вероятность миграции из одного места в другое пропорциональна размеру и численности населения каждого места и обратно пропорциональна расстоянию между ними [3].

Базовая гравитационная модель имеет следующий вид:

$$M_{i,j} = k \frac{p_i p_j}{r_{ij}^2}, \quad (1)$$

где $M_{i,j}$ – показатель взаимодействия между объектами i и j ;

k – коэффициент взаимодействия;

p – некоторая мера значимости объекта;

r_{ij}^2 – расстояние между объектами.

Если рассматривать миграционные процессы, то под $M_{i,j}$ можно понимать показатель взаимодействия между объектами i и j (миграционный поток); k – рассчитанная с помощью статистики постоянная «гравитация»; p_i, p_j – численность населения в городах i и j соответственно; знаменатель формулы (1) – расстояние между рассматриваемыми населенными пунктами [4].

Последующие сторонники этой концепции модифицировали модель, добавляя в качестве объясняющих переменных экономические, политические, социальные и другие показатели (факторные модели миграции).

Продолжив исследования Равенштейна, указавшего влияние социально-экономических факторов на миграцию, Стауффер разработал теорию промежуточных возможностей, которая является гибридом гравитационной модели миграции. Вместо того, чтобы выбирать размер городов и расстояние между ними, Стауффер использует количество возможностей как притягивающую силу. Он утверждал, что масштабы миграции прямо пропорциональны количеству возможно-

стей, доступных в местах происхождения и назначения, и обратно пропорциональны количеству промежуточных возможностей, доступных между двумя местами [5].

В модели Стауффера возможности действуют как притягивающие силы, а барьеры или проблемы – как выталкивающие силы. Масштабы миграции зависят от суммы сил выталкивания и притяжения как в месте происхождения, так и в пункте назначения.

Однако основным фактором, который определял результаты в большинстве случаев, оставалось «расстояние», что отразилось и в других моделях, например, в модели миграции В. В. Шумова [6].

Гравитационная модель применяется в исследованиях для таких объектов, как страны, регионы и отдельные города, где в качестве базового фактора выступает валовой внутренний продукт (далее – ВВП) или ВВП на душу населения.

Помимо ВВП на душу населения могут учитываться различные социально-экономические факторы. Э. Ли в теории притягивающих и выталкивающих факторов выделил следующее: к притягивающим факторам относятся высокий уровень заработной платы, индекс демократии, доступ к рынку труда, в том числе неофициальный вид заработка (удобный для нелегальных иммигрантов), количество рабочих мест; среди выталкивающих факторов определили безработицу, низкий уровень дохода, политические и климатические аспекты [7]. Также к притягивающим факторам можно отнести транспортную доступность, уровень урбанизации, доступность медицинских услуг, количество образовательных учреждений.

Однако в связи с тем, что регионы в России достаточно «контрастны» и вышеперечисленные показатели имеют высокую амплитуду изменения между собой, а также показатель расстояния в рамках регионов России может быть больше, чем при применении модели в других странах, имеет смысл рассмотреть другие экономико-математические модели.

Исследование, проведенное Е. С. Вакуленко, Н. В. Мкртчян и К. К. Фурмановым, подтверждает неоднозначность результатов гравитационной модели применимо для каждого субъекта Российской Федерации, однако позволяет выявить общие факторы миграционных потоков и их зависимость. Основным затрудняющим моментом

при использовании модели было большое количество влияющих факторов и оцениваемых параметров [8].

Кроме использования законов гравитации, применение нашли законы радиации, примененные В. Алонсо при изучении движения населения [9].

Модель радиации для миграционных процессов была модифицирована на основе стохастического процесса принятия решений по выбору места назначения человека, который определяет вероятность перехода из местоположения i в местоположение j [10].

Использование регрессионных моделей является одним из эффективных подходов к моделированию и прогнозированию миграционных процессов. Главной целью применения регрессии является выявление наличия и оценка силы взаимосвязи между изучаемыми показателями.

В контексте прогнозирования миграции модель ARIMA может быть использована для предсказания количества мигрирующих людей в будущем, основываясь на исторических данных о миграционных потоках.

Модель ARIMA состоит из трех компонентов: авторегрессии (AR), интегрированного компонента (I) и скользящего среднего (MA).

Для данной модели основной задачей является сбор ретроспективных данных о миграционных потоках, приведение выборки временных рядов к стационарности. Для определения значений p , d , и q для модели ARIMA может потребоваться использование статистических методов, например, автокорреляционной и частной автокорреляционной функций.

В отечественных работах при использовании данного метода прогнозирования внутренней миграции число прибывших и выбывших также делятся по типам поселений (городское или сельское).

На основе ретроспективных данных о миграции также могут быть построены марковские цепи. В марковских моделях миграции каждый регион рассматривается как состояние системы, а переходы между регионами описываются вероятностными матрицами переходов. С помощью модели прогнозирования на основе цепи Маркова можно получать прогноз, основанный на изменениях структуры миграционных потоков. При рассмотрении процессов миграции особое значение приобретает моделирование изменений в составе

мигрантов, а именно их начальное и конечное положение в матрице. Например, прогнозирование состава миграционного потока по отношению к квалифицированным и неквалифицированным работникам.

Применение данной модели эффективно в тех случаях, когда миграционные процессы замкнуты и вероятности перемещения в большей степени не изменяются во времени [11].

Среди применяемых для описания миграции экономико-математических моделей выделяют модели различной функциональной формы вида:

$$M = f(C, X), \quad (2)$$

где M – уровень миграции;

X – влияющие факторы;

C – параметры модели.

В работе Фаттахова Р. В., Низамутдинова М. М., Орешникова В. В. была использована линейная модель для прогнозирования миграции в федеральных округах Российской Федерации [12]. В качестве факторов использованы нормированные интегральные показатели, характеризующие демографию, экономику и финансы, социальное обеспечение, финансы населения и прочие показатели. Следует отметить, что интегральные показатели в данном случае использованы в качестве факторов, и не дают ответа на вопрос: каков уровень результативности функционирования административно-территориальных единиц?

Результаты исследования показали, что данная модель не может использоваться для всех субъектов Российской Федерации, поскольку рассматриваемые факторы для разных территорий значительно отличаются друг от друга, поэтому исследователи вынуждены были прибегнуть к методам сценарного моделирования и экспертному мнению. Такой подход носит субъективный характер, что может исказить результаты анализа и прогнозирования.

Кроме того, аналитики могут использовать метод клеточных автоматов – подход к моделированию динамических систем, основанный на разбиении пространства на прямоугольные ячейки, которые обмениваются информацией и изменяют свое состояние в соответствии с определенными правилами. Данный метод активно применяют для расчета межрегиональной миграции. С помощью клеточных автоматов моделируется поведение групп людей в определенной среде с учетом влияния окружающих условий и взаимодействия между ними [13].

Проблема построения моделей заключается в их специфичности относительно рассматриваемых факторов конкретных населенных пунктов, изменения данных, их уточнения, появления новых сведений. Беря во внимание разнообразие влияющих на миграцию аспектов, становится труднее построить адекватную модель, учитывающую все значимые особенности процесса.

Методология, допущения и информационная база исследования. Методология основана на формировании частных и интегральных показателей результативности, позволяющих обеспечить сравнимость и сопоставимость подсистем и ее элементов субъектов Российской Федерации, рассматриваемых как социо-эколого-экономические системы [14].

Будем рассматривать элементы региональной социо-эколого-экономической системы (далее – РСЭЭС) как совокупность некоторых объектов, действующих на территории субъекта Российской Федерации, характеризующихся определенным набором признаков, сходных для различных субъектов [15]. Каждый k ($k = 1, \dots, K$) регион содержит в себе i ($i = 1, \dots, I$) элементов, сгруппированных в рамках принятой классификации по классам $s_q \in S$ (q – номер класса). Множество таких элементов образуют подсистему для k РСЭС. Каждый i элемент в период времени t ($t = 1, \dots, T$) характеризуется 4 типами признаков: 1) результативный признак $y_{i,k,s_q}(t)$ – фактический результат функционирования элемента; 2) условия функционирования элемента или факторы состояния $x_{i,k,s_q,j}(t)$ ($j = 1, \dots, J$); 3) признаки, характеризующие управляющие воздействия на элемент или факторы воздействия $z_{i,k,s_q,u}(t)$ ($u = 1, \dots, U$); 4) нормативный (ожидаемый) результат функционирования элемента или нормативный результативный признак $\hat{y}_{i,k,s_q}(t)$.

Значение последнего типа признака может быть вычислено по производственной функции вида:

$$\hat{y}_i = f_i(x_{i,j}, z_{i,u}). \quad (3)$$

Если принять, что признаковые описания элементов являются случайными величинами, то связь между фактическим и нормативным результативными признаками можно представить в виде эконометрического уравнения:

$$y_i = \hat{y}_i + \varepsilon_i, \quad (4)$$

где ε_i – стохастическая случайная составляющая, которая предполагается нормальной.

Параметры производственной функции (3) могут быть найдены с помощью метода наименьших квадратов (далее – OLS) или метода максимального правдоподобия (далее – MLE) для объединенной по k и t выборке.

Тогда значение частного показателя результативности ξ_i , используемого для оценки результатов функционирования i элемента s_q подсистемы k региона в период t , можно определить по формуле:

$$\xi_{i,k,s_q}(t) = \frac{y_{i,k,s_q}^0(t)}{\hat{y}_{i,k,s_q}^0(t)}, \quad (5)$$

где индекс «0» показывает, что значения результативных признаков приведены к шкале от 0 до 1 после осуществления процедуры стандартизации (центрирование и нормирование случайной величины, представленной в абсолютных единицах измерения, обозначена индексом «*»). Такие преобразования позволяют устранить влияние масштаба и используемых единиц измерения и обеспечивают корректность оценок.

Для оценки результатов функционирования s_q подсистемы k региона в период t можно воспользоваться обобщенным (интегральным) показателем результативности, значение которого определяется по формуле:

$$\xi_{k,s_q}(t) = \frac{\sqrt{\sum_{i_1=1}^I \sum_{i_2=1}^I r_{i_1,i_2,s_q} \cdot y_{i_1,k,s_q}^0(t) \cdot y_{i_2,k,s_q}^0(t)}}{\sqrt{\sum_{i_1=1}^I \sum_{i_2=1}^I \hat{r}_{i_1,i_2,s_q} \cdot \hat{y}_{i_1,k,s_q}^0(t) \cdot \hat{y}_{i_2,k,s_q}^0(t)}}, \quad (6)$$

где r_{i_1,i_2,s_q} , $\hat{r}_{i_1,i_2,s_q}$ – соответствующие значения парного коэффициента корреляции Пирсона между i_1 -тыми y_{i_1,s_q}^0 , $\hat{y}_{i_1,s_q}^0$ и i_2 -тыми y_{i_2,s_q}^0 , $\hat{y}_{i_2,s_q}^0$ переменными – признаковыми описаниями ($i_1, i_2 = 1, \dots, I$). Если значения индикаторов результативности, определенных формулами (5) и (6) больше или равны единице, то можно считать, что функционирование элемента и подсистемы является удовлетворительным.

Значение, стоящее в знаменателе выражения (5), есть приведенное к интервалу $[0; 1]$ значение функции $\hat{y}_{i,s_q}^*$, представленной для стандартизованных переменных и преобразованной из $\hat{y}_{i,s_q}$ посредством процедуры стандартизации, которая

является ни чем иным, как производственной функцией (далее – ПФ). Кроме того, стоящее в знаменателе значение выражения (6) является значением, полученным из преобразованной комбинации ПФ, есть агрегированная ПФ (далее – АПФ). ПФ и АПФ представляют собой модели связи между результативными признаками и факторами состояния и воздействия, что позволяет учесть конкретные условия функционирования объектов исследования.

При этом параметры этих функций могут быть скорректированы с помощью разработанного метода оценки АПФ [16].

В случае, если факторы, влияющие на результативный признак, являются интегральными – агрегированными – из частных факторов, то для их получения можно воспользоваться аналогичной процедурой.

$$x_k^0 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} x_{k,i}^0 \cdot x_{k,j}^0 \cdot r_{k,i,j}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} r_{k,i,j}}}, \quad (7)$$

где x_k^0 – интегральный фактор, характеризующий k группу факторов;

$x_{k,i}^0$, $x_{k,j}^0$ – стандартизованные и приведенные к шкале от 0 до 1 с помощью унифицированного преобразования [17] факторы группы;

$r_{i,j}$ – парный коэффициент корреляции между $x_{k,i}$ и $x_{k,j}$;

n_k – число факторов k группы.

Приведение к шкале от 0 до 1 определяется по формуле [17]:

$$()^0 = \frac{()^* - ()_{\min}^*}{()_{\max}^* - ()_{\min}^*}, \quad (8)$$

где $()^*$ – стандартизованные значения факторов;

$()_{\max}^*$, $()_{\min}^*$ – их максимальное и минимальное значения соответственно.

Стандартизованные значения определяются по формуле:

$$()^* = \frac{() - \bar{x}}{\sigma_x}, \quad (9)$$

где $\bar{x}$ – среднее;

σ_x – стандартное отклонение.

Процедура стандартизации устраняет влияние единиц измерения, а унифицированное преобразование дает возможность исключить влияние

масштаба. Тем самым обеспечивается корректность сравнения разнокачественных и разноуровневых данных.

Формирование интегрального фактора с геометрической точки зрения представляет собой определение длины вектора в косоугольном базисе.

Представленная методология была применена для оценки и анализа результативности числа прибывших и числа выбывших в субъектах Центрального федерального округа (без Москвы).

В исследовании были использованы статистические данные по регионам Центрального федерального округа (далее – ЦФО), публикуемые в ежегодных статистических сборниках Федеральной службой государственной статистики Российской Федерации [18]. Кроме того, были использованы данные для валового регионального продукта (ВРП) за 2022 г. [19], а также табли-

цы инфляции с целью приведения стоимостных показателей к базовому уровню оценки – 2007 г. [20]. В связи с различиями в численности прибывших и выбывших в регионах, опубликованных в официальных источниках, общий период оценки был сокращен от запланированного первоначально и составил период 2011–2022 гг.

В качестве средств обработки данных, построения моделей, их тестирования и расчета показателей результативности были использованы программный комплекс «ЭФРА» [21] и среда разработки PyCharm на Python [22].

Результаты и обсуждение. Предварительный корреляционный анализ дал возможность выделить наиболее значимые (по величине парного коэффициента корреляции) факторы, оказывающие влияние на число прибывших и выбывших. Описание переменных представлено в таблице 1.

Таблица 1

Описание переменных модели

№	Фактор	Описание фактора
1	y_1	Число прибывших, чел
2	y_2	Число выбывших, чел
3	<i>IndexEconomics</i>	Интегральный экономический фактор
3.1	x_1	ВРП всего, млн руб.
3.2	x_2	Среднегодовая численность занятых, тыс. чел.
3.3	x_3	Стоимость основных фондов по полной четной стоимости на конец года всего, млн руб.
3.4	x_4	Инвестиции в основной капитал всего, млн руб.
4	<i>MobileIndex</i>	Интегральный инфраструктурный фактор
4.1	x_5	Пассажирооборот автобусов общего пользования, млн пасс-км
4.2	x_6	Отправление пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования, тыс. чел
5	<i>SocialIndex</i>	Интегральный социальный индекс
5.1	x_7	Расходы консолидированного бюджета всего, млн руб.
5.2	x_8	Среднедушевые денежные доходы населения, руб.
5.3	x_9	Объем платных услуг населению, млн руб.
6	<i>EcolIndex</i>	Интегральный экологический фактор
6.1	x_{10}	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников, тыс. т
6.2	x_{11}	Сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты, млн м ³
7	<i>MobileSocialEcolIndex</i>	Интегральный фактор, включающий частные факторы, входящие в состав интегральных инфраструктурного, социального и экологического факторов

Примечание: () в скобках указано значение по ОКВЭД2, действующего с 2017 года.

Источник: составлено авторами на основании данных [18]–[20].

В результате тестирования нескольких вариантов спецификаций моделей и их функ-

циональных форм, были получены две нормативные модели, обладающие лучшими, с точки

зрения статистической адекватности, характеристиками:

$$\frac{y_1}{IndexEconomics} = 223132,900 \cdot \left(\frac{1}{IndexEconomics} \right)^{0,315} \cdot \left(\frac{MobileSocialEcol}{IndexEconomics} \right)^{0,398} \quad (10)$$

$$\frac{y_2}{IndexEconomics} = 164194,800 \cdot \left(\frac{1}{IndexEconomics} \right)^{0,418} \cdot \left(\frac{MobileSocialEcol}{IndexEconomics} \right)^{0,348} \quad (11)$$

Результаты тестирования моделей представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты тестирования моделей

Статистика/ Модель	Модель 1			Модель 2		
	Значение	p-value	Гипотеза	Значение	p-value	Гипотеза
a_0	223132,90	0,000	Принимается	164194,800	0,000	Принимается
a_1	0,315	0,000	Принимается	0,418	0,000	Принимается
a_2	0,398	0,000	Принимается	0,348	0,000	Принимается
R_2	0,742	0	Принимается	0,787	0	Принимается
E_{otn}	31,203	-	-	30,046	-	-
v	201	-	-	201	-	-
Rand	122/131	0,05	Принимается	122/131	0,05	Принимается
M(e)	0,000	1,000	Принимается	0,000	1,000	Принимается
DW	1,494		Область неопределенности	1,350		Область неопределенности
R/S	6,640	-		6,397	-	
K^2	4,658	0,097	Принимается	2,087	0,352	Принимается
W	0,991	0,225	Принимается	0,995	0,713	Принимается
χ^2	13,999	0,122	Принимается	5,325	0,805	Принимается
r_{x1}	0,338	0,000	Отвергается	0,391	0,000	Отвергается
r_{x2}	-0,042	0,552	Принимается	0,031	0,655	Принимается

Примечание: p-value – уровень статистической значимости;

a_i – значения коэффициентов моделей;

R^2 – коэффициент детерминации;

v – число степеней свободы;

Rand – критическое (для уровня значимости 0,05) и расчетное количество поворотных точек (проверка на случайность ряда остатков);

$M(e)=0$ (t-statistic) – t-статистика (проверка равенства 0 математического ожидания ряда остатков);

DW – критерий Дарбина – Уотсона (проверка отсутствия автокорреляции ряда остатков, значим на указанном уровне);

R/S, K^2 , W – критерии R/S, Д’Агостино K^2 , Шапиро – Вилка соответственно (проверка на нормальность ряда остатков, для R/S значим на указанном уровне);

r_{xi} – t-статистика по коэффициенту ранговой корреляции Спирмена фактора x_i (тест на гомоскедастичность).

Источник: рассчитано авторами.

Из таблицы 2 видно, что, за исключением характеристик DW и $rx1$, полученные результаты подтверждают статистическую адекватность модели.

Отметим, что «гонка» за удовлетворением всех статистических критериев привела к увеличению E_{otn} . Наилучшие значения E_{otn} были по-

лучены при использовании в модели факторов x_9 и инвестиций в основной капитал на душу населения. В качестве результирующих показателей выступили число прибывших и число выбывших на душу населения. При этом E_{otn} составило 15,919 % и 15,973 % соответственно, однако

модели оказались статистически неадекватными с включением всего двух факторов. Большая средняя относительная ошибка свидетельствует о разбросе значений результативных признаков между регионами ЦФО. В данном исследовании строятся нормативные модели, которые характеризуют ожидаемое значение результативных при-

знаков и используются для построения частных и интегральных показателей результативности.

На основании полученных моделей были получены частные и интегральный показатели результативности по формулам (5) и (6). Результаты расчета для 2018–2022 гг. представлены в таблицах 3–5.

Таблица 3

Частный показатель результативности (Число прибывших / IndexEconomics)

Субъект/Период	2018	2019	2020	2021	2022
Белгородская область	1,079	1,035	0,705	0,585	0,421
Брянская область	1,220	0,998	0,859	0,768	0,675
Владимирская область	0,983	0,882	0,538	0,561	0,489
Воронежская область	1,609	1,470	0,991	0,882	0,800
Ивановская область	1,275	1,187	0,963	1,006	0,819
Калужская область	1,310	0,776	0,900	1,508	1,447
Костромская область	2,086	1,358	1,295	0,973	0,975
Курская область	1,233	1,159	0,808	0,580	0,518
Липецкая область	0,595	0,532	0,316	0,283	0,259
Московская область	6,435	21,731	1,240	19,894	7,430
Орловская область	0,967	0,767	0,528	0,451	0,442
Рязанская область	1,160	0,999	0,906	0,788	0,713
Смоленская область	1,366	1,235	0,907	0,937	0,909
Тамбовская область	1,083	0,857	0,695	0,636	0,568
Тверская область	1,115	1,043	0,763	0,802	0,750
Тульская область	1,014	0,785	0,642	0,574	0,668
Ярославская область	0,863	0,658	0,490	0,434	0,460

Источник: рассчитано авторами.

Из таблицы 3 видно, что аномальные значения наблюдаются для Московской области.

Обычно, максимальное значение показателя не превышает 2.

Таблица 4

Частный показатель результативности (Число выбывших / IndexEconomics)

Субъект/Период	2018	2019	2020	2021	2022
Белгородская область	1,114	0,945	0,765	0,584	0,888
Брянская область	1,359	1,038	0,858	0,787	0,804
Владимирская область	1,152	0,869	0,696	0,643	0,697
Воронежская область	1,635	1,435	1,231	0,839	1,029
Ивановская область	1,354	1,111	0,942	0,874	0,838
Калужская область	1,261	0,902	0,745	0,818	1,355
Костромская область	1,945	1,239	1,137	0,886	0,912
Курская область	1,312	1,066	0,779	0,628	0,680
Липецкая область	0,722	0,616	0,446	0,397	0,426
Московская область	5,774	21,932	1,214	17,172	8,350
Орловская область	1,037	0,774	0,571	0,494	0,545
Рязанская область	1,193	0,978	0,923	0,748	0,747

Субъект/Период	2018	2019	2020	2021	2022
Смоленская область	1,345	1,237	1,085	0,897	1,080
Тамбовская область	1,473	0,977	0,812	0,677	0,723
Тверская область	1,329	1,092	0,901	0,829	0,890
Тульская область	1,182	0,963	0,790	0,606	0,812
Ярославская область	0,937	0,741	0,634	0,521	0,583

Источник: рассчитано авторами.

Аналогичные аномальные значения наблюдаются для Московской области.

Если рассматривать число выбывших как негативный фактор (этот вопрос является ди-

скуSSIONным), то значение меньше 1 можно считать удовлетворительным миграционным потоком.

Таблица 5

Интегральный показатель результативности (Миграционный поток)

Субъект/Период	2018	2019	2020	2021	2022
Белгородская область	1,095	0,992	0,733	0,585	0,640
Брянская область	1,288	1,017	0,858	0,777	0,737
Владимирская область	1,066	0,876	0,615	0,600	0,589
Воронежская область	1,621	1,453	1,106	0,861	0,908
Ивановская область	1,314	1,150	0,952	0,941	0,828
Калужская область	1,286	0,837	0,825	1,175	1,402
Костромская область	2,012	1,298	1,215	0,929	0,943
Курская область	1,271	1,113	0,794	0,603	0,595
Липецкая область	0,654	0,571	0,377	0,335	0,336
Московская область	6,162	21,800	1,185	18,852	7,787
Орловская область	1,002	0,770	0,549	0,472	0,492
Рязанская область	1,176	0,989	0,914	0,769	0,729
Смоленская область	1,355	1,235	0,994	0,917	0,991
Тамбовская область	1,273	0,915	0,752	0,656	0,642
Тверская область	1,221	1,066	0,829	0,815	0,816
Тульская область	1,094	0,871	0,713	0,589	0,736
Ярославская область	0,898	0,697	0,559	0,476	0,518

Источник: рассчитано авторами.

Отметим, что если в 2018 году для большинства областей интегральный показатель был выше единицы, то в 2022 году значение интегрального показателя наблюдалось только в Калужской и Московской областях. Наихудший с точки зрения миграционной активности стал 2020 год, что отчасти связано и с ограничениями в силу объявленной пандемии.

Выводы. Применение представленной методики оценки результатов функционирования сложных систем к изучению миграции дало возможность выявить наилучшие и наихудшие с точки зрения миграционной активности субъекты ЦФО.

Миграция существенно зависит от экономических, социальных и экологических факторов. Однако включение в модель только частных факторов не дает возможности адекватно оценить характер их влияния, что подтверждается неадекватностью моделей и незначимостью соответствующих коэффициентов модели. Адекватности моделей удалось добиться за счет использования агрегированных (интегральных) показателей, на основании чего можно сделать вывод о необходимости учета совокупности значимых факторов и их взаимосвязи друг с другом, позволяющих добиться получения корректных моделей.

Результаты исследования могут выступать в качестве ориентира для органов управления, при разработке прогнозов и региональных мер в сфере миграционной политики.

Список источников

1. Олейник Е. Б., Ивашина Н. В., Шмидт Ю. Д. Моделирование процессов миграции населения: методы и инструменты (обзор) // Компьютерные исследования и моделирование. 2021. Т. 13. № 6. 1205–1232 с.
2. Василенко П. В. Применение гравитационной модели для анализа внутриобластных миграций (на примере Новгородской и Псковской областей) // Псковский регионологический журнал. 2013. № 15. 83–90 с. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-gravitatsionnoy-modeli-dlya-analiza-vnutrioblastnyh-migratsiy-na-primere-novgorodskoy-i-pskovskoy-oblastey> (дата обращения: 15.12.2023).
3. Копенина Т. А. Сравнительный анализ подходов к моделированию миграции // Вопросы территориального развития. № 1 (36). 2017. 1–12 с. URL: http://vtr.isert-ran.ru/article/2132/full?_lang=ru (дата обращения: 22.11.2023).
4. Огородников П. И., Макарова Н. А. Моделирование миграционных потоков в регионе // Современный инструментарий. 2013. 168–176 с.
5. Stouffer S. A. Intervening Opportunities: A Theory Relating Mobility and Distance // The American Sociological Review. 1940. № 6. 845–867 p.
6. Шумов В. В. Моделирование миграции населения в задачах обеспечения безопасности государства // Управление большими системами. 2017. № 65. 153–169 с.
7. Lee E. A Theory of Migration // Demography. 1966. № 3. 47–57 p.
8. Вакуленко Е. С., Мкртчян Н. В., Фурманов К. К. Моделирование регистрируемых миграционных потоков между регионами Российской Федерации // Прикладная эконометрика. 2011. № 1 (21). 35–55 с.
9. Alonso W. The System of Intermetropolitan Population Flows. UC Berkeley: Institute of Urban and Regional Development. 1971. 25 p. URL: <https://escholarship.org/uc/item/3mb070dz#main> (дата обращения: 20.11.2023).
10. Filippo S., Gonzales M. C., Maritan A., Barabási A.-L. A universal model for mobility and migration patterns // Nature. 2012. Vol. 48. 96–100 p.
11. Карелова О. Л., Банько М. А. Применение марковских цепей для прогнозирования демографических ситуаций в мире // Математическое моделирование. 2006. Т. 18. № 2. 43–50 с.
12. Фаттахов Р. В., Низамутдинов М. М., Орешников В. В. Научно-методические аспекты задачи моделирования миграционных процессов в субъектах РФ // Финансы: теория и практика. 2018. № 3. 100–111 с.
13. Шмидт Ю. Д., Ивашина Н. В., Озерова Г. П. Моделирование межрегиональных миграционных потоков клеточными автоматами // Компьютерный исследования и моделирование. 2020. Т. 12. № 6. 1467–1483 с.
14. Жуков Р. А. Некоторые задачи оптимизации управления социо-эколого-экономическими системами // Чебышевский сборник. 2019. Т. 20. № 1 (69). 370–388 с.
15. Zhukov R., Kuznetsov G., Manokhin E., Gorodnichev S., Plinskaya M. Balanced functioning of socio-economic systems: regional perspective // Journal of Law and Sustainable Development. 2023. Vol. 11. No. 12. e1922 p.
16. Жуков Р. А. Метод оценки результатов функционирования иерархических социально-экономических систем на основе агрегированной производственной функции // Экономика и математические методы. 2021. Т. 57. № 3. 17–31 с.
17. Айвазян С. А. Анализ качества и образа жизни населения. М.: Наука. 2012. 430 с.
18. Регионы России. Социально-экономические показатели. Статистический сборник. 2007–2023 гг. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 10.01.2024).
19. Рейтинг социально-экономического развития регионов в 2022 году. URL: <https://realnoevremya.ru/attachments/1760> (дата обращения: 10.01.2024).
20. Таблицы инфляции. URL: <https://xn----ctbjnaatncev9av3a8f8b.xn--p1ai/%D1%82%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D1%86%D1%8B-%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D0%B8> (дата обращения: 10.01.2024).
21. Жуков Р. А. Подход к оценке функционирования иерархических социально-экономи-

ческих систем и принятию решений на базе программного комплекса «ЭФРА» // Бизнес-информатика. 2020. Т. 14. № 3. 82–95 с.

22. PyCharm IDE для профессиональной разработки на Python. URL: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm/> (дата обращения: 09.01.2024).

References

1. Oleynik E. B., Ivashina N. V., Shmidt Yu. D. Migration processes modelling: methods and tools (overview) // *Computer research and modeling*. 2021. Vol. 13. No. 6. 1205–1232 p.
2. Vasilenko P. V. Applying gravity model to interregional migration analysis in relation to Novgorod and Pskov region // *Pskov Journal of Regional Studies*. No. 15. 83–90 p. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-gravitatsionnoy-modeli-dlya-analiza-vnutrioblastnyh-migratsiy-na-primere-novgorodskoy-i-pskovskoy-oblastey> (accessed 15.12.2023).
3. Korepina T. A. Comparative analysis of approaches to migration simulation // *Issues of territorial development*. No. 1 (36). 2017. 1–12 p. (accessed 22.11.2023).
4. Ogorodnikov P. I., Makarova N. A. The modelling of migratory flows into the region // *Economy of Region*. 2013. Vol. 34. No. 2. 168–176 p.
5. Stouffer S. A. Intervening Opportunities: A Theory Relating Mobility and Distance // *The American Sociological Review*. 1940. No. 6. 845–867 p.
6. Shumov V. V. Migration modeling: an extension of gravity model // *Large-scale systems control*. 2017. No. 65. 153–169 p.
7. Lee E. A Theory of Migration // *Demography*. 1966. No. 3. 47–57 p.
8. Vakulenko E. S., Mkrtchyan N. V., Furmanov K. K. Modeling registered migration flows between regions of the Russian Federation // *Applied Econometrics*. 2011. Vol. 21. No. 1. 35–55 p.
9. Alonso W. The System of Intermetropolitan Population Flows. *UC Berkeley: Institute of Urban and Regional Development*. 1971. 25 p. URL: <https://escholarship.org/uc/item/3mb-070dz#main> (accessed 20.11.2023).
10. Filippo S., Gonzales M. C., Maritan A., Barabási A.-L. A universal model for mobility and migration patterns // *Nature*. 2012. Vol. 48. 96–100 p.
11. Karelova O. L., Banko M. A. Application of Markov circuits for prediction of the demographic situation in the world // *Mathematical modeling*. 2006. Vol. 18. No. 2. 43–50 p.
12. Fattakhov R. V., Nizamutdinov M. M., Oreshnikov V. V. The scientific and methodological aspects of the problem of migration processes modeling in the subjects of the Russian Federation // *Finance: Theory and Practice*. Vol. 22. No. 3. 100–111 p.
13. Shmidt Yu. D., Ivashina N. V., Ozerova G. P. Modelling interregional migration flows by the cellular automata // *Computer research and modeling*. 2020. Vol. 12. No. 6. 1467–1483 p.
14. Zhukov R. A. Some optimization problems of the management of socio-ecological-economic systems // *Chebyshevskii sbornik*. 2019. Vol. 20. No. 1 (69). 370–388 p.
15. Zhukov R., Kuznetsov G., Manokhin E., Gorodnichev S., Plinskaya M. Balanced functioning of socio-economic systems: regional perspective // *Journal of Law and Sustainable Development*. 2023. Vol. 11. No. 12. e1922 p.
16. Zhukov R. A. Method for assessing the results of hierarchical socio-economic systems' functioning based on the aggregated production function // *Economics and Mathematical Methods*. 2021. Vol. 57. No. 3. 17–31 p.
17. Aivazian S. A. Quality of life and living standards analysis. Moscow: *Nauka*. 2012. 430 p.
18. Regions of Russia. Socio-economic indicators. Statistical collection. 2007–2023 URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (accessed 10.01.2024).
19. Rating of socio-economic development of regions in 2022. URL: <https://realnoevremya.ru/attachments/1760> (accessed 10.01.2024).
20. Tables of inflation. URL: <https://xn---ctbjnaatncev9av3a8f8b.xn--plai/%D1%82%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D1%86%D1%8B-%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D0%B8> (accessed 10.01.2024).
21. Zhukov R. A. An approach to assessing the functioning of hierarchical socio-economic systems and decision-making based on the EFRA software package // *Business Informatics*. 2020. Vol. 14. No. 3. 82–95 p.
22. PyCharm IDE for professional development in Python. URL: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm/> (accessed 09.01.2024).

Информация об авторах

Р. А. ЖУКОВ – доктор экономических наук, кандидат физико-математических наук, доцент, профессор кафедры математики и информатики;

С. В. ПРОКОПЧИНА – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системный анализ в экономике»;

Н. О. КОЗЛОВА – кандидат технических наук, доцент кафедры математики и информатики;

М. А. ПЛИНСКАЯ – магистрант 1 курса направления «Стратегия и финансы бизнеса»;

М. А. ЖЕЛУНИЦИНА – магистрант 1 курса направления «Стратегия и финансы бизнеса»;

М. А. КОРОЛЕВА – магистрант 1 курса направления «Стратегия и финансы бизнеса».

Information about the authors

R. A. ZHUKOV – Doctor of economic sciences, candidate of physical and mathematical sciences, Docent, Associate Professor, Dept. of mathematics and informatics;

S. V. PROKOPCHINA – Doctor of technical sciences, Professor, Professor of the Department of “System Analysis in Economics”;

N. O. KOZLOVA – Candidate of technical sciences, Associate Professor;

M. A. PLINSKAYA – 1st year master’s student of the direction «Business Strategy and Finance»;

M. A. ZHELUNITSINA – 1st year master’s student of the direction «Business Strategy and Finance»;

M. A. KOROLEVA – 1st year master’s student of the direction «Business Strategy and Finance».

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 11.01.2024; одобрена после рецензирования 16.01.2024; принята к публикации 21.01.2024.

The article was submitted 11.01.2024; approved after reviewing 16.01.2024; accepted for publication 21.01.2024.