

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ ЗАНЯТЫХ, БЕЗРАБОТНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИ НЕАКТИВНОГО НАСЕЛЕНИЯ В РЕГИОНЕ С УЧЕТОМ СОЦИАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ

М. Ю. Хавинсон

*Институт комплексного анализа региональных проблем
Дальневосточного отделения Российской академии наук*

Поступила в редакцию 23 октября 2016 г.

Аннотация: рассматривается математическая модель динамики численности занятых, безработных и экономически неактивного населения в регионе. Приведены результаты численного исследования, продемонстрировано наличие сложных периодических режимов. Модель верифицирована на статистических данных Еврейской автономной области.

Ключевые слова: математическая модель, занятые, безработные, экономически неактивное население, регион, социальные связи.

Abstract: the article deals with the mathematical model for population dynamics of employed, unemployed and economically inactive population in a region. The results of numerical study of the model are shown, the complex periodic modes are demonstrated in the model. The model is verified on the statistics of the Jewish Autonomous Region.

Key words: mathematical model, employed, unemployed, economically inactive population, region, social networks.

Решение проблем региональной занятости и безработицы является одной из важнейших задач устойчивого развития региона. Анализ динамики численности экономически активного населения может быть проведен при условии глубокого понимания не только экономической ситуации, но и сути социальных отношений на региональном рынке труда. Теория и практика математического моделирования показывают, что простые взаимодействия между объектами могут приводить к колебательным режимам поведения системы, появление которых сложно интуитивно предвидеть и вовсе невозможно количественно охарактеризовать без привлечения соответствующего научного аппарата [1–3]. Таким образом, экспертный анализ в решении вопросов региональной занятости и безработицы может быть значимо дополнен математическим моделированием.

Для моделирования региональной занятости и безработицы представляется немаловажным принять во внимание социальные взаимодействия между группами населения [4–7], включая и экономически неактивное население как постоянный источник пополнения занятого и безработного населения. В настоящем исследовании под социальными взаимодействиями понимается в первую

очередь обмен информацией между представителями разных групп населения, приводящий к изменению занятости и безработицы.

Основным математическим инструментом изучения межличностных сетей в современной науке являются имитационные модели [8–10], с помощью которых пытаются описать всю сложность общественных взаимодействий. Аналитическое и полное численное исследование такого рода моделей практически невозможно. В настоящем исследовании предлагается упростить моделирование социальных сетей, действующих между акторами регионального рынка труда, с целью качественного описания и прогнозирования динамики численности занятого и безработного населения региона. Простые («парные») сетевые взаимодействия являются индикатором развития рынка труда и, надо полагать, мгновенно реагируют на изменение социально-экономической ситуации. Кроме того, сами социальные взаимодействия могут достаточно сильно изменить динамику занятости и безработицы, однако они не отражены в статистике, и их оценка – задача социологии и моделирования.

Идея использования простой динамической модели для описания изменения занятости и безработицы в аспекте согласования спроса на рабочую силу и ее предложения реализована у А. Г. Коровкина [11], использования социальных сетей –

у Я. Брамуде и Ж. Сен-Поля [12]. В развитие этого подхода в настоящей статье приводится система с тремя фазовыми переменными и более сложными социальными связями, позволяющими описать некоторые нелинейные особенности динамики численности экономически активного населения.

Построение модели. Содержательный смысл коэффициентов уравнений

Реализуемые подходы моделирования динамики численности занятых x , безработных y и экономически неактивного населения z в регионе базируются на принципе парных взаимодействий, который впервые был применен в естественных науках [13–15], а в современных исследованиях успешно используется в изучении общества [16–18]. Парные взаимодействия типа xu , xz , yz описывают обмен информацией, во многом обусловленный социально-экономической ситуацией в регионе (коэффициенты η_{ij}) (рис. 1). Произведения xz и yz в модели означают количество всевозможных пар по одному представителю занятого и экономически неактивного населения, безработного и экономически неактивного населения соответственно в процессе такого обмена информацией. Коэффициенты η_{13} , η_{23} при данных произведениях описывают эффектив-

ность (результативность) взаимодействий экономически неактивного населения с занятыми и безработными соответственно. Условно говоря, η_{13} , η_{23} определяют долю всевозможных парных взаимодействий, которые оказали влияние на изменение занятости и безработицы за счет пополнения из экономически неактивного населения.

В общем виде модель можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} dx / dt = f_1(x) + \eta_{12}xy + \eta_{13}xz, \\ dy / dt = f_2(y) + \eta_{21}xy + \eta_{23}yz, \\ dz / dt = f_3(z) + \eta_{31}xz + \eta_{32}yz, \end{cases}$$

где x – численность занятых; y – численность безработных; z – численность экономически неактивного населения; $f_1(x)$, $f_2(y)$, $f_3(z)$ – функциональные зависимости, обобщенно описывающие динамику групп населения; η_{ij} – коэффициенты взаимовлияния групп населения; i, j – индексы, принимающие целочисленные значения от 1 до 3, $i \neq j$.

Таким образом, общие функциональные зависимости должны в целом описать динамику рассматриваемых групп населения, а структурные взаимодействия населения в аспекте экономической активности моделируются нелинейными членами.

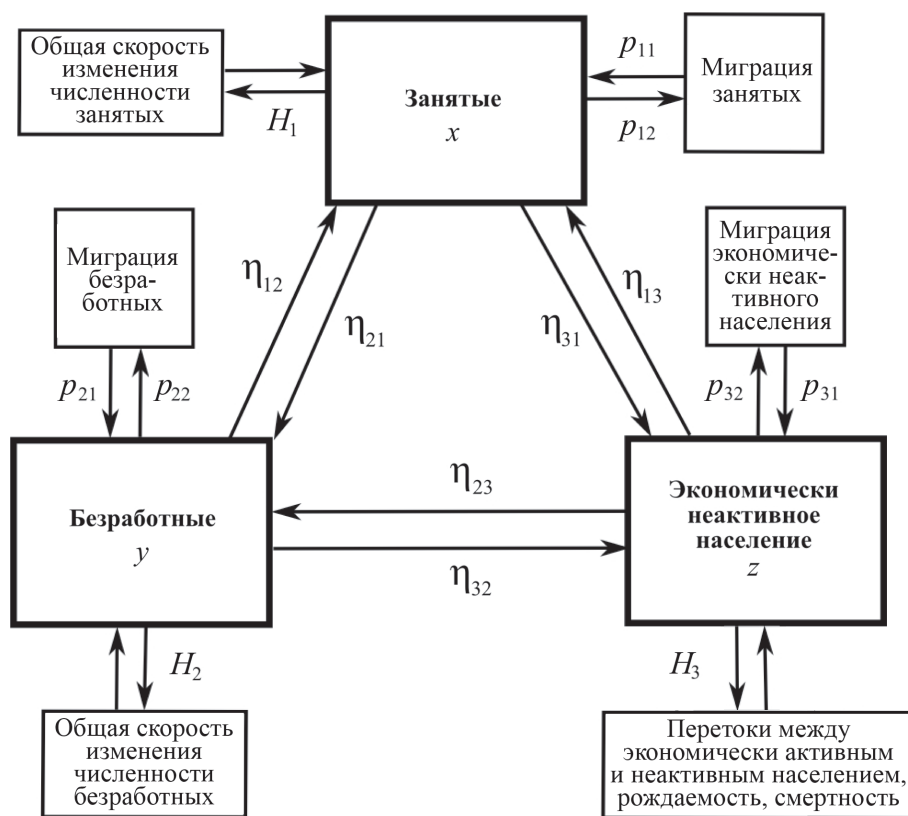


Рис. 1. Схема модели

Функциональные зависимости в настоящем исследовании имеют следующий вид:

$$du / dt = p - Hu,$$

где u – фазовая переменная, t – переменная времени; p – параметр, обобщенно описывающий миграцию; H – параметр, характеризующий скорость изменения группы населения.

Разумеется, для каждой группы населения параметр H будет иметь свой содержательный смысл. Так, для экономически неактивного населения он в большей степени будет отражать естественное движение населения (рождаемость, смертность), а также обобщенно описывать баланс перетоков между экономически активным и неактивным населением. Для численности занятых и безработных параметр H будет «отслеживать» изменение экономической ситуации. Для дальневосточных регионов в целом при ее улучшении, реализации крупных инвестиционных проектов будет наблюдаться прирост численности занятых и, вероятно, сокращение безработицы. В противном случае, например, при постепенной ликвидации предприятий будут увеличиваться численность безработных и сокращаться численность занятых. При этом в обобщенных параметрах неявно учитываются экономические стимулы занятости населения, например, уровень заработной платы. Так, изменения социально-экономической ситуации, потребности предприятий в работниках будут непосредственно связаны с уровнем заработной платы, условиями труда, имиджем профессии и т.д. Из содержательного смысла параметров ясно, что они могут принимать и отрицательные значения.

Выбор такой зависимости для обобщенного описания динамики групп населения подтверждается не только ее простотой, но и относительно хорошей аппроксимацией численности занятых (в целом и в отраслевом разрезе [19; 20], по воз-

растным группам [21]), а также численности населения [22] на примере Еврейской автономной области (далее – ЕАО).

В итоге получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} dx / dt = p_1 - (H_1 + \eta_{12}y + \eta_{13}z)x, \\ dy / dt = p_2 - (H_2 + \eta_{21}x + \eta_{23}z)y, \\ dz / dt = p_3 - (H_3 + \eta_{31}x + \eta_{32}y)z, \end{cases} \quad (1)$$

где x – численность занятых; y – численность безработных; z – численность экономически неактивного населения; p_i – коэффициенты миграции; H_i – общая скорость изменения численности группы населения; H_3 включает также рождаемость; η_{ij} – коэффициенты взаимовлияния групп населения; i, j – индексы, принимающие целочисленные значения от 1 до 3, $i \neq j$.

Сложные режимы динамики модели

Численно обнаружено, что в системе существует 5 особых точек, между которыми происходят серии бифуркаций, приводящих к разнообразной структуре фазового пространства [19], в том числе к сложной периодической динамике (рис. 2).

Хаотическое изменение численности рассматриваемых групп населения в данном случае является следствием неблагоприятной ситуации на рынке труда: миграционный приток преобладает над оттоком лишь среди занятого населения ($p_1 > 0$, $p_2 < 0$, $p_3 < 0$), наблюдается значимый переток занятых в категорию экономически неактивного населения вследствие социальных взаимодействий ($\eta_{13} > 0$, $\eta_{13} < 0$). При этом для всех групп, кроме первой, характерна положительная скорость изменения численности ($H_2 < 0$, $H_3 < 0$).

Обнаружено, что сложная трехмерная структура в фазовом пространстве формируется через каскад удвоений периода цикла ($H_1 = -1,015$ и

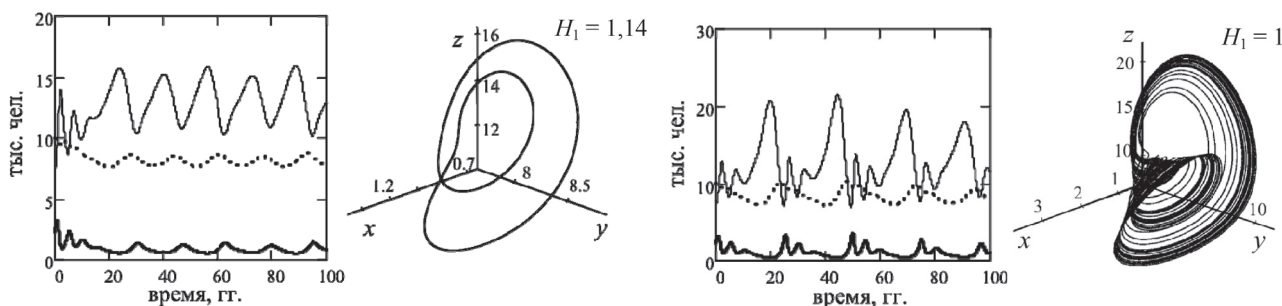


Рис. 2. Периодическая и нерегулярная динамика в системе (1):
 $p_1 = 1,798$, $\eta_{12} = -0,1599$, $\eta_{13} = 0,362$, $p_2 = -0,996$, $H_2 = -0,0279$, $\eta_{21} = 0,013$,
 $\eta_{23} = -0,0081$, $p_3 = -8,608$, $H_3 = -1,428$, $\eta_{31} = -0,431$, $\eta_{32} = 0,139$

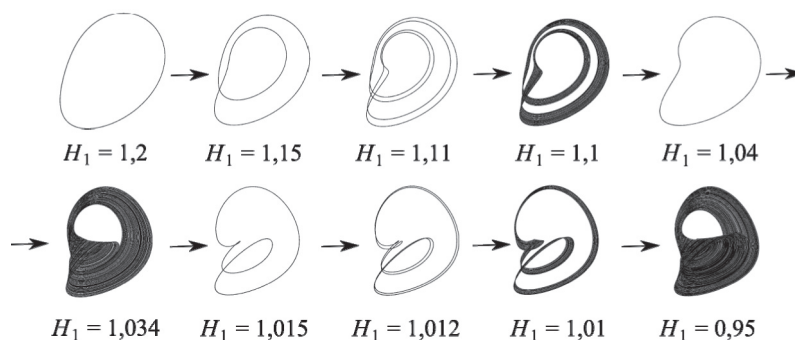


Рис. 3. Эволюция аттрактора в модели

$H_1 = -1,2$) или путем постепенного зашумления предельного цикла ($H_1 = -1,04$) (рис. 3). В итоге в фазовом пространстве (например, при $H_1 = -1,034$ и $H_1 = -0,95$) возникает странный аттрактор.

Ситуация, соответствующая детерминированному хаосу, возможна в случае, если регион при относительно небольшой численности населения становится «промежуточным звеном» в трудовой миграции населения. Следует отметить, что сложные периодические режимы появляются в достаточно узких областях параметрического пространства и оказываются в разной степени устойчивыми к изменению конкретных параметров. В прикладном аспекте это означает, что для устранения или сглаживания колебаний в численности экономически активного населения необходимо действовать на бифуркационные параметры системы.

Верификация модели на статистических данных Еврейской автономной области

Модельные уравнения применены для описания динамики численности занятого, безработного и экономически активного населения ЕАО по статистическим данным за 1997–2015 гг. [23].

Параметрическая идентификация модели проведена в среде MathCad методом наименьших квадратов (минимизировалась сумма квадратов отклонений фактических данных от соответствующих координат точек интегральных кривых), т.е. решалась оптимизационная задача вида:

$$J(u) = \mu_1 \sum_{j=1}^N (x^*(t_j) - x(t_j, u))^2 + \mu_2 \sum_{j=1}^N (y^*(t_j) - y(t_j, u))^2 + \mu_3 \sum_{j=1}^N (z^*(t_j) - z(t_j, u))^2 \rightarrow \min_{u \in D},$$

где $u = (p_1, p_2, p_3, H_1, H_2, H_3, \eta_{12}, \eta_{13}, \eta_{21}, \eta_{23}, \eta_{31}, \eta_{32})^T$ – вектор искомых коэффициентов системы (1) $x(t_j, u)$, $y(t_j, u)$ и $z(t_j, u)$ – решение системы (1) в t_j момент времени, полученное адаптивным методом Рунге – Кут-

та, $x^*(t_j)$, $y^*(t_j)$ и $z^*(t_j)$ – фактические численности занятых, безработных и экономически неактивного населения. Весовые коэффициенты μ_i ($\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 = 1$) выражают относительную значимость частных критериев оптимизационной задачи [19; 24].

Для оценки приближения модельной кривой и фактических данных использованы средняя ошибка аппроксимации A_{cp} и коэффициент детерминации R^2 (таблица). Средняя ошибка аппроксимации A_{cp} вычислена по формуле

$$A_{cp} = \frac{1}{n} \sum_i \left| \frac{x_i - \hat{x}_i}{x_i} \right| \cdot 100 \%,$$

где n – длина ряда данных, x_i – фактическое (по статистическим данным) значение показателя в i -м году, \hat{x}_i – расчетное (модельное) значение показателя в i -м году.

Т а б л и ц а
Статистические оценки качества модели

Оценка модели	Занятые	Безработные	Экономически неактивное население
$A_{cp}, \%$	2,14	11,3	2,57
R^2	0,72	0,92	0,92

Набор параметров наиболее хорошо описывающих статистических данных следующий:

$$\begin{cases} dx / dt = 0,0002 - (0,1705 + 0,0026y - 0,0021z)x, \\ dy / dt = 1,3397 - (-0,0692 + 0,0007x + 0,0023z)y, \\ dz / dt = 0,3231 - (0,0598 - 0,0003x - 0,0016y)z. \end{cases} (2)$$

Приведенный набор коэффициентов соответствует в модели устойчивому фокусу с координатами (0,0013; 33,0; 47,1). Это означает, что социально-демографическая система автономии находится в предкризисном состоянии, приводящем к сокращению численности населения, увеличению безработицы и неформальной занятости. По этому варианту прогноза к 2030 г. численность занятого и

экономически неактивного населения относительно аналогичного показателя в 2015 г. сократится в 2,2 и 1,5 раза соответственно (в абсолютных величинах – до 34,0 и 54,2 тыс. чел. соответственно), численность безработных составит 11,3 тыс. чел., что в 1,7 раза больше, чем в 2015 г. (рис. 4). Следует отметить, что приведенные предельные значения численности групп населения достигаются после 2055 г. Разумеется, что такой долгосрочный прогноз не является корректным ввиду имеющейся длины временных рядов.

Для найденных оценок характерно то, что в параметрическом пространстве значения коэффициентов модели относительно близки к границам неустойчивости. На рис. 5 изображена паутинная

параметрическая диаграмма, позволяющая в целом представить, насколько устойчивы коэффициенты модели к линейным изменениям. Параметрические прямые, соответствующие коэффициентам модели, изображены в виде линий, исходящих из центра диаграммы. Центральной частью этих линий являются отрезки с границами $[-1; 1]$. Черные метки на отрезках – точная граница области устойчивости, незакрашенные метки означают $+\infty$. Крестиками отмечены оцененные для ЕАО значения параметров модели. Точки параметрических прямых, соответствующие границам устойчивости модели, соединены отрезками и образуют деформированное кольцо. Форма этого кольца является общим «образом» устойчивости коэффициентов модели.

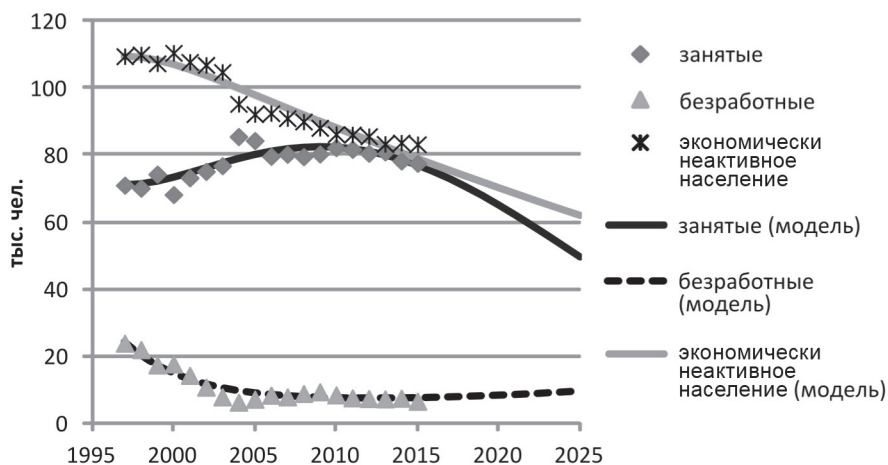


Рис. 4. Фактическая и модельная динамика численности занятых, безработных и экономически неактивного населения в ЕАО

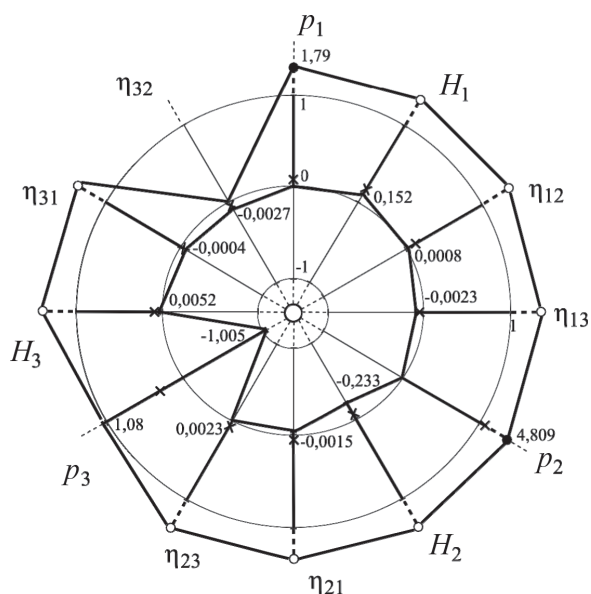


Рис. 5. Паутинная диаграмма значений параметров, соответствующих областям устойчивости модели

Для найденного набора коэффициентов наименее устойчивыми к линейным изменениям оказались параметры p_1 , p_2 и η_{32} . Отрицательное миграционное сальдо в группе экономически активного населения приведет к неустойчивости динамики социально-экономической системы (в аспекте модели это соответствует особым точкам типа седла, седлоузла или седлофокуса). Для динамики численности населения в ЕАО особенно важным оказался параметр социальных взаимодействий безработного и экономически неактивного населения. Вероятно, в автономии достаточно большую роль в поддержке безработного населения играют пенсионеры, которые могут оказать социальную (присмотр и уход за детьми) и некоторую материальную поддержку близким родственникам, ищущим работу.

Ввиду этого возникает вопрос о наборе параметров, описывающих относительно благополучную ситуацию в экономике ЕАО. Путем проведения вычислительных экспериментов определен устойчивый сценарий динамики численности занятых, безработных и экономически активного населения (назовем его сценарий 2 в отличие от критического сценария 1) (рис. 6):

$$\begin{cases} dx/dt = 3,28 - (0,146 - 0,006y - 0,001z)x, \\ dy/dt = 1,8 - 0,006xy, \\ dz/dt = 2,32 - (0,0365 - 0,0001x)z. \end{cases} \quad (3)$$

Этот сценарий возможен при большем миграционном притоке во всех рассматриваемых группах населения и изменении характера социальных взаимодействий между занятыми и безработными. Такой сценарий реализуется при увеличении миграционной привлекательности ЕАО и престижа официальной занятости. Стационарные значения численности занятых, безработных и экономически активного населения составляют соответственно 77,9 тыс. чел., 3,8 тыс. чел. и 80,8 тыс. чел. (в модели особая точка типа устойчивый узел), а социальные взаимодействия между безработными и экономически неактивным населением не значимы (т.е. безработные не переходят в категорию экономически неактивного населения, а экономически неактивное население, «подрастая», в течение одного года попадает в категорию занятого населения).

Таким образом, с точки зрения обобщенного математического моделирования возможен критический сценарий динамики численности экономически активного населения ЕАО, при котором численность занятых может уменьшиться до 2 раз за 10 лет, а численность безработных – увеличиться до 1,5 раз.

Рассматривая модельную динамику численности населения ЕАО, следует отметить, что в долгосрочной перспективе полученный по статистическим данным сценарий не является наиболее вероятным ввиду того, что экономика автономии,

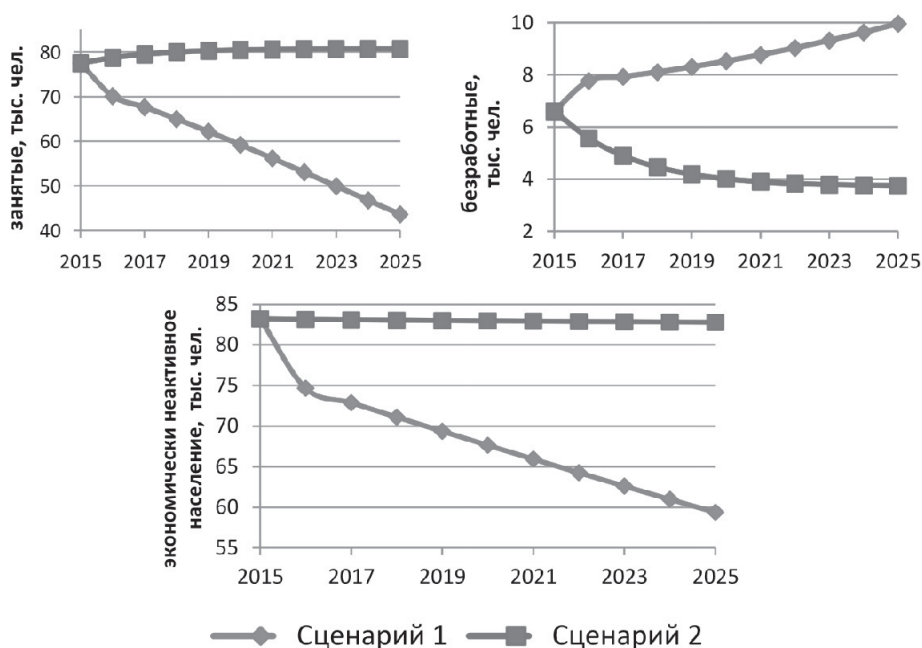


Рис. 6. Сценарии численности занятых, безработных и экономически неактивного населения в ЕАО

по всей видимости, находится в переходном состоянии, в окрестности точки бифуркации. При этом, как видно из рис. 5, значения параметров не находятся в окрестности хаотического аттрактора и являются устойчивыми согласно примененному методу параметрической идентификации (иными словами, любые отклонения от этих оценок параметров будут ухудшать качество аппроксимации). Модель косвенно по динамике переменных, описывающей резкое сокращение численности рассматриваемых групп населения, демонстрирует наличие переходных процессов в экономике региона. При этом данная модель не дает ответа о конкретных механизмах и направлениях трансформации экономики автономии. Отчетливо ясно, что существующие тенденции развития области, на основе которых сделаны модельные расчеты, должны измениться. Вполне возможно, что при достижении некоторых критических значений численности населения могут «включиться» социальные механизмы самоорганизации населения [25], способные амортизировать кризис и перевести социально-экономическую систему автономии в устойчивое состояние. Примером такой социальной самоорганизации является трудоустройство посредством личных связей, бартерный обмен и поиск рынка сбыта собственной сельскохозяйственной продукции в кризисные 1990-е гг. в ЕАО [26; 27].

Итак, приведенная модель является аналитическим инструментом, позволяющим оценить социально-экономический «облик» экономики региона

через призму социальных взаимодействий между занятыми, безработными и экономически неактивным населением. Интерпретация результатов моделирования в комплексе с экспертным анализом может увеличить шансы на принятие конструктивных решений по регулированию занятости и безработицы в регионе.

Следует отметить, что концепция приведенной модели, основанная на эконофизической идеологии передачи информации Д. С. Чернавского [28; 29], подразумевает наличие явно выраженных сетевых взаимодействий населения. Учитывая возрастающую роль социальных сетей (и реальных, и виртуальных), можно утверждать, что объективные социально-экономические факторы, например, высокий уровень жизни, экономическая стабильность, будут создавать информационную «волну» в социальных сетях и влиять на миграционную активность и уровень занятости. Кроме того, важным аспектом является социальная самоорганизация населения, позволяющая эволюционно переводить социально-экономическую систему региона в устойчивое состояние. Описание механизмов и прогнозирование такой самоорганизации – отдельная научная задача, для которой модели, основанные на учете прошлых тенденций, оказываются некорректными. Вероятно, для описания переходных процессов можно использовать физические модели самоорганизованной критичности [30] и анализ социальных перемен, основанный на регулярных социологических опросах и интервью.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Volterra V.* Lecons sur la Theorie Mathematique de la Lutte pour la Vie / V. Volterra. – Paris, 1931. – 222 p.
2. *Фрисман Е. Я.* Явление мультирежимности в популяционной динамике животных с коротким жизненным циклом / Е. Я. Фрисман [и др.] // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 460, № 4. – С. 488.
3. *Хавинсон М. Ю.* Эконофизика : от анализа финансов до судьбы человечества / М. Ю. Хавинсон // Пространственная экономика. – 2015. – № 1. – С. 144–166.
4. *Колесникова О. А.* Занятость населения как фактор социальной стабильности / О. А. Колесникова, Е. В. Маслова // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Экономика и управление. – 2015. – № 4. – С. 123–126.
5. *Лаврусевич П. Е.* Личные связи на российском рынке труда / П. Е. Лаврусевич // Регион : экономика и социология. – 2007. – № 2. – С. 136–150.
6. *Наумова М. В.* Социальные сети в локальной территориальной общности / М. В. Наумова // Регион : экономика и социология. – 2007. – № 2. – С. 113–120.

7. *Calvo-Armengol A.* Social Networks and Labour Market Outcomes / A. Calvo-Armengol // Els Opuscles del CREI. – January 2006. – № 17. – 25 p.

8. *Трофимова И. Н.* Моделирование социального поведения / И. Н. Трофимова // Сайт С. П. Курдюмова «Синергетика». – Режим доступа: <http://spkurdyumov.narod.ru/Trophimova9.htm>

9. *Давыденко В. А.* Моделирование социальных сетей / В. А. Давыденко, Г. Ф. Ромашкина, С. Н. Чуканов // Вестник Тюмен. гос. ун-та. – 2005. – № 1. – С. 68–79.

10. *Watts D. J.* Collective dynamics of «small-world» networks / D. J. Watts, S. H. Strogatz // Nature. – 1998. – Vol. 393. – P. 440–442.

11. *Коровкин А. Г.* Проблемы согласования спроса на рабочую силу и ее предложения на российском рынке труда / А. Г. Коровкин // Проблемы прогнозирования. – 2011. – № 2. – С. 103–123.

12. *Bramoullé Y.* Social Networks and Labor Market Transitions / Y. Bramoullé, G. Saint-Paul // IZA Discussion Paper. – July 2004. – № 1215. – 38 p.

13. Рубин А. Б. Кинетика биологических процессов / А. Б. Рубин, Н. Ф. Пытьева, Г. Ю. Ризниченко. – М. : Изд-во МГУ, 1987. – 464 с.
14. Базыкин А. Д. Математическая биофизика взаимодействующих популяций / А. Д. Базыкин. – М. : Наука, 1985. – 181 с.
15. Lorenz E. N. Deterministic nonperiodic flow / E. N. Lorenz // Journal of the Atmospheric Science. – 1963. – Vol. 20. – P. 130–141.
16. Weidlich W. Sociodynamics : a Systematic Approach to Mathematical Modelling in the Social Sciences / W. Weidlich. – CRC Press, 2000. – 392 p.
17. Романовский М. Ю. Введение в экономфизику: статистические и динамические модели / М. Ю. Романовский, Ю. М. Романовский. – М. ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2012. – 340 с.
18. Курилова Е. В. Моделирование динамики добычи минеральных ресурсов в регионе : экономический подход / Е. В. Курилова [и др.] // Информатика и системы управления. – 2012. – № 4 (31). – С. 3–13.
19. Хавинсон М. Ю. Динамика факторов производства в экономике региона : экономический подход / М. Ю. Хавинсон // Пространственная экономика. – 2014. – № 1. – С. 119–137.
20. Хавинсон М. Ю. Математическая модель динамики численности экономически активного населения и иностранной рабочей силы в регионе (на примере Еврейской автономной области) / М. Ю. Хавинсон, М. П. Кулаков, С. Н. Мищук // Информатика и системы управления. – 2012. – № 1 (31). – С. 95–106.
21. Хавинсон М. Ю. Математическое моделирование динамики численности разновозрастных групп занятых в экономике региона / М. Ю. Хавинсон, М. П. Кулаков // Компьютерные исследования и моделирование. – 2014. – Т. 6, № 3. – С. 441–454.
22. Неверова Г. П. Модельный анализ региональной демографической ситуации на примере Еврейской автономной области / Г. П. Неверова, О. Л. Ревуцкая // Региональные проблемы. – 2008. – № 9. – С. 10–15.
23. Официальная статистика // Официальный сайт Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Еврейской автономной области. – Режим доступа: http://evrstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/evrstat/ru/statistics/
24. Хавинсон М. Ю. Прогнозирование динамики внешней трудовой миграции на региональном уровне / М. Ю. Хавинсон, М. П. Кулаков, С. Н. Мищук // Проблемы прогнозирования. – 2013. – № 2. – С. 99–111.
25. Гареева И. А. Системообразующие признаки и свойства социальных систем / И. А. Гареева // Вестник Тихоокеан. гос. ун-та. – 2009. – № 3. – С. 201–206.
26. Соловченков С. А. Адаптивные механизмы, действовавшие в начальный период экономических преобразований на селе / С. А. Соловченков // Аграрная наука. – 2014. – № 1. – С. 8–9.
27. Соловченков С. А. Трансформация структуры занятости сельского населения Приамурья в современных российских условиях / С. А. Соловченков // Журнал социологии и социальной антропологии. – 2013. – Т. XVI, № 4 (69). – С. 184–188.
28. Чернавский Д. С. Об экономическом и ее месте в современной теоретической экономике / Д. С. Чернавский [и др.] // Успехи физических наук. – 2011. – Т. 81, № 7. – С. 767–773.
29. Хавинсон М. Ю. Модельный анализ динамики численности занятых в разрезе возрастных групп (на примере Хабаровского и Приморского краев) / М. Ю. Хавинсон, М. П. Кулаков // Региональные проблемы. – 2015. – Т. 18, № 4. – С. 13–19.
30. Сорнетте Д. Как предсказывать крахи финансовых рынков. Критические события в комплексных финансовых системах / Д. Сорнетте. – М. : Интернет-Трейд-инг, 2003. – 394 с.

Институт комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук

Хавинсон М. Ю., кандидат экономических наук, старший научный сотрудник

E-mail: havinson@list.ru

Тел.: 8 (42622) 6-13-62, 8-924-646-79-41

Institute for Complex Analysis of Regional Problems, FEB RAS

Khavinson M. Yu., Candidate of Economic Sciences, Senior Research Fellow

E-mail: havinson@list.ru

Tel.: 8 (42622) 6-13-62, 8-924-646-79-41