

УДК 314.04

DOI: 10.31040/2222-8349-2020-0-3-93-99

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ
НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

© М.М. Низамутдинов, А.Р. Атнабаева, М.И. Ахметзянова

По данным Росстата, на сегодняшний день в 56 регионах Российской Федерации сложилась отрицательная динамика численности населения. Для 52 регионов это снижение объясняется естественной убылью населения, в том числе в 42 регионах наблюдается отрицательное сальдо миграции. В связи с этим перед государством стоит сложная задача по принятию эффективных управленческих решений для улучшения демографической ситуации. Объектом исследования выступает социальная система регионального уровня, рассматриваемая как совокупность индивидуумов, взаимодействующих между собой в рамках общественных отношений и обладающих уникальным набором характеристик. Предпочтительным методом исследования является агентное имитационное моделирование как инструмент, позволяющий исследовать поведение децентрализованных агентов. В качестве социальных и экономических агентов выступают люди и регионы. Схема разработки агент-ориентированной модели (АОМ) реализована в виде диаграммы активности в нотации UML. Отличительной особенностью АОМ является использование нечеткой логики и вероятностно-статистических методов для описания поведения агентов. Для моделирования поведения агента «Человек» использовано программное обеспечение MathLab, на основе которого разработан нечеткая система описания и оценки желаемого уровня жизни агентов.

Ключевые слова: миграция, агент-ориентированная модель, прогнозирование, нечеткая логика.

Получение наиболее точных результатов прогнозирования численности населения представляет собой актуальную задачу для государства и может применяться в таких областях, как планирование доходов и расходов Пенсионного фонда РФ, формирование условий страхования жизни, обоснование бюджета местных органов власти, выработка механизмов демографической, социальной и экономической политики. Исследования по прогнозированию численности населения объединяют в себе множество методов моделирования динамики населения [1]. Однако до сих пор не существует универсальных методик прогнозирования и оценки эффективности принимаемых управленческих решений. Одним из наиболее эффективных методов, используемых при изучении динамики численности населения, является агентное моделирование.

В последнее время агентный подход к моделированию демографических процессов

используется довольно часто. Так, в статье Silverman Eric, Bijak Jakub, Jason Noble, Viet Dung Cao, Jason Hilton. «Semi-Artificial Models of Populations: Connecting Demography with Agent-Based Modelling» [2] описана модель, соединяющая в себе преимущества статистических и агентных подходов. Одним из наиболее значимых исследований по миграции населения является работа Zhaohao Fua, Lingxin Haob «Agent-Based Modeling of China's Rural-Urban Migration and Social Network Structure» [3], в которой описана миграция населения в сельские и городские районы Китая. Логика данной модели заключается во влиянии агентов друг на друга и учете внутренних связей «мигрант – не мигрант» и «мигрант – мигрант», и на основе этого рассчитывается их миграционная склонность. Среди российских исследователей АОМ рассматривается в статьях В.Л. Макарова, А.Р. Бахтизина, Е.Д. Сушко и А.Ф. Агеевой. Одна из работ вышеперечисленных авторов [4]

НИЗАМУТДИНОВ Марсель Малихович – к.т.н, Институт социально-экономических исследований УФИЦ РАН, e-mail: marsel_n@mail.ru

АТНАБАЕВА Алсу Расилевна, Институт социально-экономических исследований УФИЦ РАН, e-mail: alsouy@mail.ru

АХМЕТЗЯНОВА Миляуша Ильгамовна, Институт социально-экономических исследований УФИЦ РАН, e-mail: ms.milyash1997@mail.ru

описывает трудовую миграцию китайских граждан в Россию, где мотивация к миграции рассматривается по группам в зависимости от уровня образования и дохода семьи.

Агентный подход к моделированию поведения индивидуумов требует высокого уровня детализации, что приводит к сложности создания адаптивной и универсальной модели, которая позволит решать любые задачи. В связи с этим отличительная особенность АОМ заключается в возможности учета влияния уровня социально-экономического развития на поведение человека. Для апробации модели в качестве объекта исследования был выбран регион со средним уровнем миграционного оттока населения – Республика Башкортостан. Целью разработки модели является получение сценарных прогнозов динамики численности населения.

Демография – это сложный процесс, состоящий из подпроцессов (миграция, рождение детей, старение и смерть). В связи с этим наиболее продуктивно будет исследование каждого блока в отдельности. Миграция населения – это сложное социальное явление, на которое влияют климатические, экономические, политические и культурные факторы. В представленной модели рассматривается трудовая межрегиональная миграция населения Республики Башкортостан.

Модели и методы. Концепция предлагаемой модели трудовой межрегиональной миграции основана на создании «искусственного общества», максимально приближенного по своим свойствам к реальности за счет отражения характеристик человека на микроуровне. Для этого были созданы агенты «Человек» и «Регион». Входными данными для модели были выбраны социально-экономические показатели региона (объем валового регионального продукта на душу населения, среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций и др.) и индивидуальные характеристики человека (пол, возраст, уровень образования, экономическая занятость, желаемый уровень заработной платы, фактический уровень заработной платы и др.).

Наравне с миграцией в модели реализованы механизмы рождения нового агента, его старения и смерти, более подробно описанные в [5, 6]. Для наглядного представления этапов разработки АОМ на рис. 1 изображена диаграмма активности по трем уровням декомпо-

зиции блока «Миграция». Алгоритм функционирования модели состоит из следующих этапов [7]:

1) считывание данных и формирование начального состояния системы;

2) расчет общих коэффициентов, необходимых для определения уровня миграционной привлекательности регионов;

3) расчет вероятности наступления одного из 3-х событий (рождение агента, его смерть и миграция). Каждый агент имеет внутренние предпосылки к миграции, которые характеризуются показателем миграционной активности: чем выше данный коэффициент, тем выше вероятность переезда агента в другой регион;

4) формирование статистики по численности населения и его структуре в виде графиков и таблиц.

Значение миграционной активности агента «Человек» зависит от переменной «Желаемый уровень жизни»: чем выше значение данного показателя по сравнению с уровнем жизни в регионе, тем выше уровень миграционной активности агента. В связи с тем что при принятии решений человек опирается не на количественные характеристики, а на качественные, при моделировании поведения агента использованы методы нечеткой логики. Для этого было проведено нечеткое моделирование в среде *Matlab* с помощью расширения *Fuzzy Logic Toolbox*. Выходной переменной является «Желаемый уровень жизни» (*PLiving Standard*). В качестве входных лингвистических переменных определены: *Age* (возраст), *Wage* (разница между желаемым и фактическим уровнем заработной платы, тыс. руб.) и *LevelOf Education* (уровень образования). Описание переменных приведено в табл. 1.

С помощью модуля *fuzzy* на основании знаний экспертов были сформированы производные правила, которые имеют вид «Если – То» (табл. 2).

На основе разработанных правил формируется визуальная поверхность, которая позволяет оценить адекватность построенной модели. На рис. 2 представлена поверхность, отражающая зависимость выходной переменной от разницы между фактической и желаемой величиной заработной платы, а также уровня образования. Желаемый уровень жизни агента возрастает с увеличением уровня его образования и степени неудовлетворенности уровнем заработной платы.

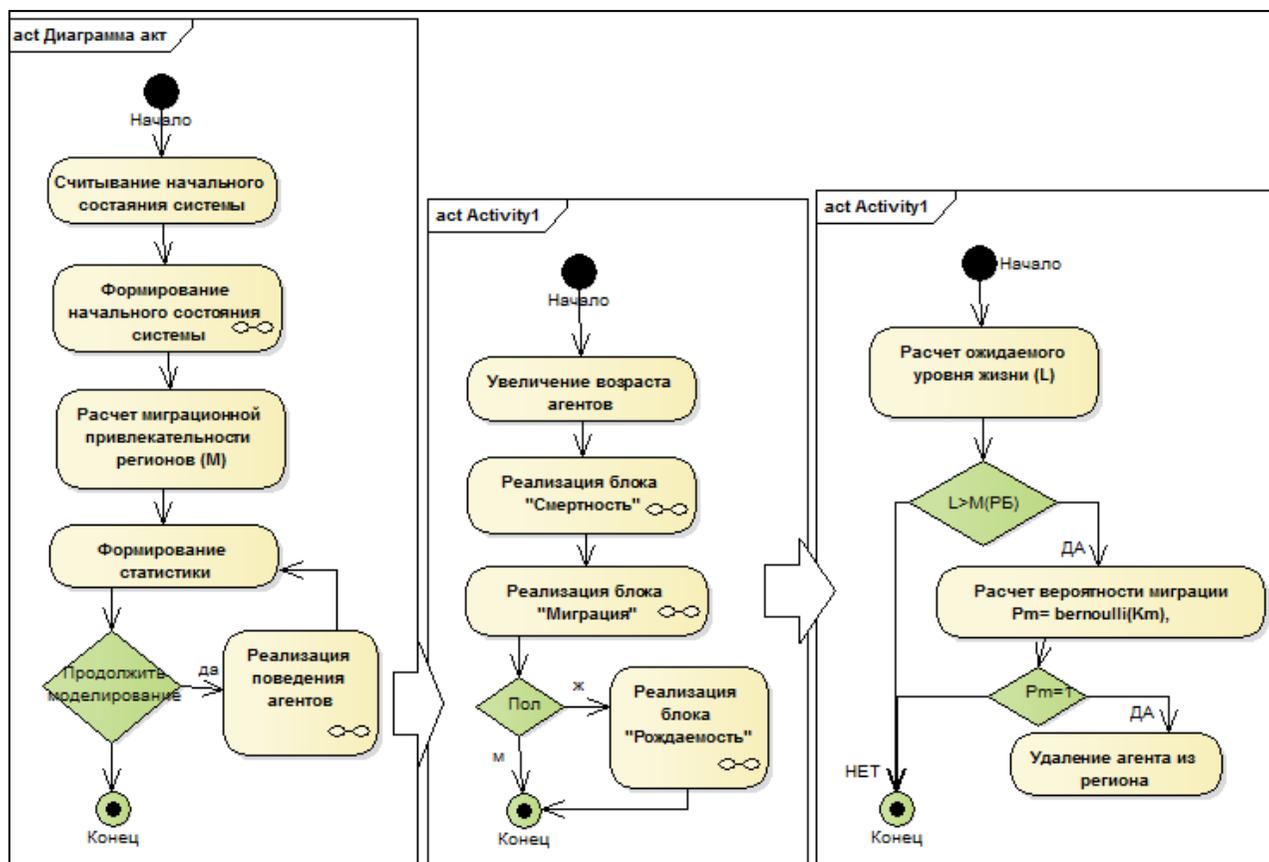


Рис. 1. Диаграмма активности функционирования агент-ориентированной модели демографических процессов

Т а б л и ц а 1

Описание входных переменных

Наименование	Диапазон значений	Термы	Тип функциональной принадлежности
Age	14..60(65)	<i>VY</i> – very young (очень молодой) <i>Y</i> – young (молодой) <i>A</i> – adult (взрослый) <i>M</i> – mature (зрелый)	Гауссова
Wage	0..100	<i>L</i> – low (низкий) <i>M</i> – middle (средний) <i>H</i> – high (высокий) <i>VH</i> – very high (очень высокий)	Гауссова
LevelOf Education	1..3	<i>P</i> – primary (начальное) <i>S</i> – secondary (среднее) <i>H</i> – higher (высшее)	Гауссова
PLivingStandard	1..3	<i>L</i> – low (низкий) <i>M</i> – middle (средний) <i>H</i> – high (высокий)	Гауссова

Продукционные правила построения системы нечеткого вывода

№	ЕСЛИ			ТО
	<i>Age</i>	<i>Wage</i>	<i>LevelOf Education</i>	<i>PLivingStandard</i>
1	<i>VY</i>	<i>LW</i>	<i>P</i>	<i>L</i>
2	<i>VY</i>	<i>LW</i>	<i>S</i>	<i>L</i>
3	<i>VY</i>	<i>LW</i>	<i>H</i>	<i>L</i>
4	<i>VY</i>	<i>BA</i>	<i>P</i>	<i>L</i>
5	<i>VY</i>	<i>BA</i>	<i>S</i>	<i>L</i>
6	<i>VY</i>	<i>BA</i>	<i>H</i>	<i>L</i>
7	<i>VY</i>	<i>A</i>	<i>P</i>	<i>L</i>
8	<i>VY</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>M</i>
...	
46	<i>M</i>	<i>AA</i>	<i>P</i>	<i>M</i>
47	<i>M</i>	<i>AA</i>	<i>S</i>	<i>H</i>
48	<i>M</i>	<i>AA</i>	<i>H</i>	<i>H</i>

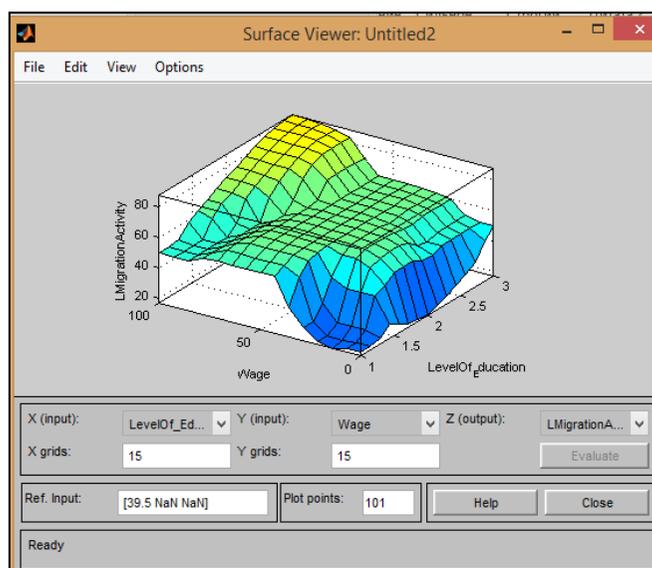


Рис. 2. Визуализация поверхности нечеткого вывода рассматриваемой модели для входных переменных «Wage» и «LevelOf Education»

Расчетные значения показателя желаемого уровня жизни агента «Человек» сопоставляются с величиной показателя уровня жизни в регионе. Для этого на основе иерархической кластеризации по методу Уорда были проанализированы 85 субъектов РФ по 3 показателям [8]:

- темпы изменения уровня среднедушевых денежных доходов населения (X_1);
- темпы изменения общей площади жилых помещений, приходящиеся в среднем на одного жителя (X_2);
- темпы изменения уровня безработицы (X_3).

В результате анализа было сформировано 3 кластера.

Первый кластер характеризуется высокими темпами изменения уровня заработной платы и общей площади жилых помещений, низким темпом изменения уровня безработицы. Ко второму кластеру относятся регионы со средними показателями величины представленных выше входных переменных.

К третьему кластеру принадлежат регионы с низкими темпами изменения значений показателей фактической заработной платы и общей площади жилых помещений, приходящиеся в

среднем на одного жителя, а также высокими темпами изменения уровня безработицы.

В табл. 3 представлен фрагмент результатов кластерного анализа по группам регионов, в которые чаще всего мигрирует население Республики Башкортостан.

Показатель «уровня жизни» для агента «Регион» соответствует кластеру, к которому он принадлежит [9]. Таким образом, в случае, если значение показателя «Желаемый уровень жизни» агента «Человек» больше величины показателя «уровень жизни» для региона, в котором он проживает, то для агента в модели рассчитывается вероятность миграции по формуле 1.

$$P_m = \text{Bernoulli}(K_m), \quad (1)$$

где K_m – коэффициент миграции, рассчитываемый каждый год по формуле 2.

Коэффициент миграции, в свою очередь, рассчитывается на основе линейной функции:

$$K_m = -48.63 + 3.85 * X_1^d - 187.38 * X_2^d + 3.54 * X_3^d + 1.17 * X_4^d, \quad (2)$$

где X_1^d – объем выбросов, загрязняющих атмосферный воздух веществ, отходящих от стационарных источников, на 1 млн рублей валового

регионального продукта; X_2^d – отношение величины валового регионального продукта к величине валового внутреннего продукта; X_3^d – общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя; X_4^d – коэффициент напряженности на рынке труда.

Полученные значения коэффициентов детерминации ($R^2=0.94$), критерия Фишера ($F_{\text{факт}}=14$) и критериев Стьюдента свидетельствуют об адекватности модели и статистической значимости коэффициентов регрессии.

Соответствующим образом в АОМ реализована миграция по другим причинам [6].

Результаты. Последним шагом разработки АОМ являются апробация и настройка модели. Для этого в качестве фактических данных использовались статистические данные по Республике Башкортостан, а в качестве расчетных данных выступают средние значения показателей АОМ по итогам 10 экспериментов. На основании результатов, приведенных в табл. 4, можно сделать вывод, что расчетные значения данных отличаются от фактических примерно на 2%, т.е. модель является адекватной.

Т а б л и ц а 3

Фрагмент результатов кластерного анализа

№	Наименование региона	Кластер	№	Наименование региона	Кластер
46	Республика Башкортостан	3	55	Оренбургская область	1
50	Удмуртская Республика	3	66	Челябинская область	1
18	г. Москва	1	30	г. Санкт-Петербург	2
49	Республика Татарстан	1	52	Пермский край	2
61	Свердловская область	1	57	Самарская область	2
63	Ханты-Мансийский автономный округ	1	64	Ямало-Ненецкий автономный округ	2
34	Краснодарский край	1			

Т а б л и ц а 4

Значения фактических и расчетных данных, тыс. чел.

	Фактические значения			Расчетные значения		
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Число родившихся	59.0	55.7	49.2	59.3	55.1	49.8
Число умерших	54.1	52.5	50.4	54.0	52.3	50
Сальдо миграции	5.36	6.51	1.42	4.56	6.0	1.1

Разработанная агент-ориентированная модель дает возможности прогнозировать численность населения и его структуру в зависимости от социально-экономических показателей. Полученные результаты позволяют оценить эффективность принимаемых управленческих решений. Дальнейшие исследования будут направлены на увеличение количества экономических агентов в модели и проведение экспериментов на более обширных данных.

Заключение. Предложенная концепция моделирования миграционного движения трудоспособного населения основана на формировании правил поведения индивидуумов с применением методов нечеткой логики. На основе представленной концепции была разработана агент-ориентированная модель. Модель позволяет проследить динамику миграционного движения населения и сформировать рекомендации по повышению эффективности используемых мер регулирования демографической ситуации.

Исследование проводится при поддержке РФФИ, №18-010-00901

Литература

1. Pablo-Martí F., Santos J., Kaszowska J., An Agent-Based Model of Population Dynamics for the European Regions. *Emergence: Complexity Organization*. 2015. № 17. DOI:10.2139/ssrn.2445958.
2. Silverman E., Bijak J., Noble J., Cao V., Hilton J., Semi-Artificial Models of Populations: Connecting Demography with Agent-Based Modelling. 2012. DOI:10.1007/978-4-431-54847-8_12.
3. Zhaohao F., Haob L., Agent-Based Modeling of China's Rural-Urban Migration and Social Network Structure // *Physica A.: Statistical Mechanics and its Applications*. 2018, Vol 490. Pp. 1061–1075. doi: 10.1016/j.physa.2017.08.145.
4. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф. Искусственное общество и реальные демографические процессы // *Экономика и математические методы*. 2017. № 1 (53). С. 3–18.
5. Атнабаева А.Р. Исследование естественного движения населения в Республике Башкортостан с применением параметрического метода // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2019. № 3. С. 81–86.
6. Низамутдинов М.М., Атнабаева А.Р. Концептуальные и методические аспекты разработки агент-ориентированной модели демографических процессов на региональном уровне (на примере Республики Башкортостан) // *Искусственные общества*. 2019. Т. 14. № 4. DOI: 10.18254/S207751800007514-4.
7. Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики. М.: Экономика, 2008. 279 с.
8. Фаттахов Р.В., Низамутдинов М.М., Орешников В.В. Методология оценки привлекательности крупных городов России для жителей, туристов и бизнеса // *Регион: Экономика и Социология*. 2019. Т. 104. № 4. С. 268–294.
9. Аитова Ю.С., Орешников В.В. Подходы к моделированию взаимовлияния демографического потенциала и экономического развития регионов России // *Вестник НГИЭИ*. 2018. Т. 91. № 12. С. 69–80.

References

1. Pablo-Mart F., Santos J., Kaszowska J. An agent-based model of population dynamics for the European regions. *Emergence: Complexity and Organization*, 2015, no. 17. doi: 10.2139/ssrn.2445958
2. Silverman E., Bijak J., Noble J., Cao V., Hilton J. Semi-artificial models of populations: Connecting demography with agent-based modelling. 2012. doi: 10.1007/978-4-431-54847-8_12
3. Zhaohao F., Haob L. Agent-based modeling of China's rural-urban migration and social network structure. *Physica A.: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2018, vol. 490, pp. 1061–1075. doi: 10.1016/j.physa.2017.08.145
4. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Ageeva A.F. Artificial society and real demographic processes. *Ekonomika i matematicheskie metody*, 2017, no. 1 (53), pp. 3–18.
5. Atnabaeva A.R. Investigation of the vital rates in the Republic of Bashkortostan using the parametric method. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2019, no. 3, pp. 81–86.
6. Nizamutdinov M.M., Atnabaeva A.R. Conceptual and methodological aspects of developing an agent-based model of demographic processes at the regional level (on the example of the Republic of Bashkortostan). *Iskustvennye obshchestva*, 2019, vol. 14, no. 4. doi: 10.18254/S207751800007514-4
7. Bakhtizin A.R. Agent-based models of economy. Moscow, *Ekonomika*, 2008. 279 p.
8. Fattakhov R.B., Nizamutdinov M.M., Oreshnikov V.V. Methodology for evaluating the attractiveness of Russia's major cities for residents, tourists and businesses. *Region: Ekonomika i sotsiologiya*, 2019, vol. 104, no. 4, pp. 268–294.
9. Aitova Yu.S., Oreshnikov V.V. Approaches to modeling the mutual influence of the demographic potential and economic development of the regions of Russia. *Bulletin NGIEI*, 2018, vol. 91, no. 12, pp. 69–80.



**RESEARCH OF INTERREGIONAL MIGRATION PROCESSES BASED
ON SIMULATION MODELLING**

© М.М. Nizamutdinov, A.R. Atnabaeva, M.I. Akhmetzyanova

Institute of Social and Economic Researches – Subdivision of the Ufa Federal Research Center
of the Russian Academy of Sciences,
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

According to the Federal State Statistics Service, negative population dynamics has developed to date in 56 regions of the Russian Federation. For 52 regions, this decrease is explained by the natural population decline, including the fact that a negative migration balance is observed in 42 regions. In this regard, the state faces the difficult task of making effective management decisions to improve the demographic situation. The subject of the study is the social system at the regional level considered as a set of individuals interacting with each other in the context of social relations and having a unique range of characteristics. The preferred research method is agent-based simulation as a tool to investigate the behaviour of decentralized agents. In this case people and regions serve as social and economic agents. The agent-based model (ABM) development scheme is implemented in the form of an activity diagram in the UML notation. A distinctive feature of the ABM is the use of fuzzy logic and probabilistic and statistical methods to describe the behaviour of the agents. To simulate the behaviour of the agent «People», the software MathLab was used, on the basis of which a fuzzy system was developed to describe and evaluate the agents' desired standard of living.

Key words: migration, agent-based model, forecasting, fuzzy logic.