



## Artificial societies. 2013-2019

ISSN 2077-5180

URL - <http://artsoc.jes.su>

All right reserved

Issue 3 Volume 13. 2018

# The features of applying agent-based approach to modeling demographic processes

**N. Samsonova**

*Samsonova Natalia, laboratory of computer modeling of social and economic processes, CEMI RAS; Russian Federation, Moscow  
Nakhimovsky prospect, 47*

## Abstract

This article describes how to develop an agent-based model of socio-economic development of the region, starting with its demographic block. The concept of the demographic block is simulating the demographic situation in the region, including population change, its sex and age structure, the number of women of childbearing age, number of births and deaths. The basic condition of the model is a simulation of a resident population in the region and the natural population movement without considering migratory flows. In the process of developing the model was carried out the collection and analysis of statistical data needed for its formalization and filling. Regularities of demographic behaviour of the population have been formalized and implemented in the model. Under validation process the calibration was carried out adjustment coefficient calculated life expectancy of women. The model will calculate the demographic projections and evaluate the balance of labour resources which can be used in the process of strategic planning of regional labour market.

**Keywords list (en):** natural population movement, simulation modelling, agent-based model, vital statistics, strategic planning.

**Date of publication:** 03.07.2018

## Citation link:

Samsonova N. The features of applying agent-based approach to modeling demographic processes // Artificial societies. 2018. V. 13. Issue 3 [Electronic resource]. Access for registered users. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800000120-1-1/> (circulation date: 19.08.2019). DOI: 10.18254/S0000120-1-1

1 Моделирование социально-экономической системы (далее - СЭС) в период «возрождения» стратегического планирования в России становится необходимой ступенью в процессе разработки ряда документов стратегического планирования. Правильно верифицированная модель СЭС позволит рассчитать ряд параметров социально-экономического развития, а также провести вариативные расчеты данных параметров в рамках различных сценарных условий.

2 Социально-экономическая система является сложным и комплексным объектом моделирования и требует построение модели «снизу-вверх»: от отдельного индивида к населению в целом или от предприятия к отрасли. Такой же принцип построения моделей использует агент-ориентированный подход: совокупность самостоятельно развивающихся агентов образует искусственное общество, функционирующее в рамках определенных ограничений и закономерностей.

3 Агент-ориентированная модель формирует новый подход к рассмотрению социально-экономического развития страны, региона, республики, города. Ценность данного подхода заключается в том, что он может спрогнозировать, проанализировать и "прожить" заданный промежуток времени, показав результативность запланированного решения без рисков для экономических агентов и среды.

4 Согласно (Макаров, 2013) Агент-ориентированная модель - это модель, обладающая следующими характеристиками.

- 5 1. Автономия. Агенты действуют независимо друг о друга, имея свой собственный индивидуальный алгоритм поведения. Поведение агентов, также не регулируется какой-либо одной общей структурой. Однако при этом взаимодействие микро- и макроуровней сохраняется: совокупное поведение агентов микроуровня влияет на параметры макроуровня.
2. Неоднородность. Агенты отличаются друг от друга индивидуальным набором параметров, регулирующих различные аспекты отображаемых объектов.
3. Ограниченная рациональность агентов. Агенты ограничены в познании фактов, выходящих за рамки их системы.
4. Расположение в пространстве. Подразумевается "среда

имитационного обитания".

6 Однако основной отличительной чертой агент-ориентированных моделей является взаимодействие в них большого числа агентов.

7 Согласно перечисленным свойствам агент в агентных моделях является автономным объектом с определенной целью функционирования и способностью к обучению в границах, задаваемых разработчиком модели.

8 В рамках данной работы автором будет начат процесс разработки агент-ориентированной модели социально-экономического развития региона (далее – АОМ СЭР).

9 **Концепция модели.** Структура АОМ СЭР региона должна учитывать его социально-экономическую систему. Автором предлагается следующая структура модели (рис. 1), представленная в виде трех взаимосвязанных блоков: демографического, экономического и управленческого. Демографический блок представляет моделирование демографической ситуации региона и формирует предложение труда. Экономический блок представляет производство товаров, формирует спрос на труд. Управленческий блок представляет органы государственной власти, которые также формируют спрос на труд, перераспределяют полученные налоги в трансферты и задают целевые ориентиры развития остальных блоков.

10



*Рис. 1 Структура агент-ориентированной модели социально-экономического развития региона*

11 Ввиду сложности объекта моделирования – социально-экономической системы региона – разработка модели будет осуществляться с постепенным усложнением. Начать построение модели предлагается с реализации демографического блока, в результате которого будет получен объем предложения труда на рынке региона. Затем в модели будет подключен

экономический блок, распределяющий поток трудовых ресурсов. Реализация управленческого блока в рамках данной модели осуществляется за счет задания экзогенных (управляющих) параметров социально-экономического развития, установленных в программных документах региона (например, целевой уровень безработицы, количество создаваемых рабочих мест, доля женщин в общей численности занятого населения и т.д.).

<sup>12</sup> Концепция демографического блока разрабатываемой агент-ориентированной модели заключается в имитации демографической ситуации региона, включающей изменение численности населения, его половозрастной структуры, численности женщин репродуктивного возраста, числа родившихся и умерших. Основным условием модели является моделирование численности постоянного населения региона и естественных процессов движения населения без учета миграционных потоков.

<sup>13</sup> Для реализации моделирования применяется специальное программное обеспечение для имитационного моделирования AnyLogic<sup>1</sup>. К явным преимуществам данного инструмента можно отнести возможность комбинирования трех подходов имитационного моделирования: дискретно-событийного, системной динамики, агентного моделирования. Особо важно отметить комбинацию агентного моделирования и системной динамики для моделирования социально-экономических систем.

<sup>14</sup> Процесс моделирования может быть интерактивным, поскольку AnyLogic предлагает широкий спектр управляющих элементов (кнопки, ввод текста, чек-боксы, ползунки и т.п.). С их помощью переменные и параметры модели могут меняться прямо по ходу имитации. В AnyLogic встроены основные распределения вероятностей, а также оптимизатор OptQuest, который автоматически находит лучшие значения параметров модели с учетом заданных ограничений. Данный функционал позволяет проводить различные эксперименты для калибровки и анализа чувствительности модели на варьирование параметров. Процесс построения модели оптимизируется возможностью применения диаграмм состояний агентов, вероятностных распределений, записи функций, наличия адаптированных под агентное моделирование библиотек и других преимуществ программного продукта.

<sup>15</sup> Процесс разработки агент-ориентированной модели включает в себя следующие этапы:

1. определение агентов модели, поведение и взаимодействие которых отвечает концепции моделирования;
2. сбор статистических и иных данных, необходимых для формализации модели и ее наполнения;
3. верификация модели, т.е. процесс выявления структуры и логики модели, правил, закономерностей и ограничений функционирования

агентов.

16 В рамках последовательного выполнения данных этапов были осуществлены сбор статистических данных и выявление закономерностей, описывающих процессы естественного движения населения. Созданная конструкция модели позволит смоделировать воспроизведение демографической ситуации региона и протекание естественных демографических процессов. В целях валидации и апробации модели был выбран реальный субъект Российской Федерации – Республика Карелия. Для моделирования демографической ситуации в регионе был создан тип агентов «Население», популяция которого представляет структуру населения Республики Карелия. Согласно концепции разрабатываемой модели, созданная популяция агентов должна воспроизводить и имитировать демографическую ситуацию в регионе, поэтому данный тип агентов включает следующие основные параметры моделирования:

- 17 ● пол;
- возраст (динамически изменяющийся с каждым модельным годом);
  - ожидаемая продолжительность жизни.

18 Агенты типа «Население» в модели имитируют жизненный цикл человека: рождение, взросление и смерть. Поведение агентов задается диаграммой состояний, представляющей собой графическое описание возможных состояний агента, связанных между собой переходами, срабатывающими при выполнении задаваемых условий и/или событий<sup>2</sup> (Борщев, 2004).

19 За исходную точку моделирования взят 2009 год. Для воспроизводства демографической ситуации проанализирована статистика, представленная Территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по Республике Карелия. Для воссоздания имеющейся на 2009 год структуры населения создано распределение агентов по полу и возрасту, соответствующее данным за рассматриваемый год. Численность мужчин и женщин в республике, начиная с 2009 г. устоялась на одном положении: 45,6% - мужчины, 54,4% - женщины (см. табл. 1).

20 Таблица 1. Численность мужчин и женщин (на начало года)

Год	Всё население, тысяч человек	В том числе:		тыс. чел. и в %	
		мужчины	женщины	мужчины	женщины
2009	653,8	298,3	355,5	45,6	54,4
2010	648,7	295,8	352,9	45,6	54,4
2011	642,6	292,8	349,8	45,6	54,4
2012	639,7	291,5	348,2	45,6	54,4
2013	636,9	290,2	346,7	45,6	54,4

2014	634,4	289,2	345,2	45,6	54,4
2015	632,5	288,4	344,1	45,6	54,4
2016	629,9	287,2	342,7	45,6	54,4

*Источник:* данные ТОФГС (Республика Карелия. Статистический ежегодник 2014 (табл. 4.3); Республика Карелия. Статистический ежегодник 2016 (табл. 4.3)).

21 Согласно данным за 2009 год была создана популяция агентов с начальным количеством 6538, масштабированном к исходному числу как 1:100 (1 агент = 100 человек). 45,4% агентам было присвоено значение параметра "пол" как "муж", что означает мужской, 54,6% агентов - "жен" (женский) соответственно. Таким образом, изначальная половая структура населения была сохранена.

22 Для присвоения агентам соответствующего возраста были созданы два распределения (население\_жен\_возраст и население\_муж\_возраст), соответствующие статистическим данным взятым из Статистического бюллетеня "Численность населения Российской Федерации по полу и возрасту на 1 января 2009 года". Присваивание соответствующего значения возраста происходит по количеству наблюдений данного значения, т.е. по процентному содержанию населения в данном возрасте по соответствующему полу. На основании расчетов на рис. 2 и рис. 3 представлены графики распределения мужского и женского населения по возрасту соответственно.

23



*Рис. 2. График распределения мужчин по возрасту по состоянию на 1 января 2009 года. Источник: составлено автором по данным ФСГС.*

24



Рис. 3. График распределения женщин по возрасту по состоянию на 1 января 2009 года. Источник: составлено автором по данным ФСГС.

25 Для моделирования процесса взросления агентов используется модельное время и время "рождения" агента. Единицей модельного времени является год. Время рождения для изначально созданного количества агентов определяется в соответствии с распределением возраста с отрицательным знаком, что означает "рождение" агента за  $n$  лет до запуска модели, для создаваемых во время прогона (работы) модели агентов время рождения задается как текущая единица модельного времени. Возраст каждого агента определяется как разность текущего модельного времени и времени рождения:

26  $\text{возраст} = \text{time}() - \text{рождение}$

где возраст - текущий возраст агента;

$\text{time}()$  - текущее модельное время;

рождение - время "рождения" агента, рождение  $< 0$  - для начального количества агентов, рождение  $> 0$  - для создаваемых в процесса прогона модели агентов.

27 Для моделирования времени смерти определяется ожидаемая продолжительность жизни населения для каждого возрастного периода. Согласно (Венецкий, И. Г., 1971, С. 35-69) были построены следующие таблицы расчетных показателей для мужчин и женщин (см. табл. 2. и табл. 3.).

28 Таблица 2. Расчет ожидаемой продолжительности жизни для мужчин

Возрастной период	Числ. мужчин, $b_x$	к-т смертности	Числ. умерших, $a_x$	$M_x$ - отношение умерших в возрасте $x$ к числ. в возрасте $x$	$Q_x$ - вероятность для тех, кто дожил до возраста $x$ , умереть в возрасте $x$	$P_x$ - вероятность для тех, кто дожил до возраста $x$ , дожить до возраста $x+1$	$L_x$ - вероятность для родившихся дожить до возраста $x$	$N_x$ - вероятность родившихся дожить до возраста $x$ и умереть
<b>0-4</b>	18437	1,6	29	0,0016	0,001599	0,9984	0,9984	0,0016
<b>5-9</b>	16724	0,4	7	0,0004	0,0004	0,9996	0,9984	0,0004
<b>10-14</b>	15878	0,6	10	0,0006	0,0006	0,9994	0,9980	0,0006
<b>15-19</b>	22903	1,2	27	0,0012	0,001199	0,9988	0,9974	0,0012
<b>20-24</b>	31856	3,2	102	0,0032	0,003195	0,9968	0,9962	0,0032
<b>25-29</b>	29203	5,6	164	0,0056	0,005584	0,9944	0,9930	0,0055
<b>30-34</b>	26565	7,8	207	0,0078	0,00777	0,9922	0,9875	0,0077
<b>35-39</b>	23759	11,1	264	0,0111	0,011039	0,9890	0,9798	0,0108
<b>40-44</b>	21591	13,4	289	0,0134	0,013311	0,9867	0,9690	0,0129
<b>45-49</b>	26371	20,3	535	0,0203	0,020096	0,9799	0,9561	0,0192
<b>50-54</b>	25222	27,2	686	0,0272	0,026835	0,9732	0,9369	0,0251
<b>55-59</b>	20845	38,3	798	0,0383	0,03758	0,9624	0,9117	0,0343
<b>60-64</b>	11006	46,1	507	0,0461	0,045061	0,9549	0,8775	0,0395
<b>65-69</b>	7869	57,0	449	0,0570	0,055421	0,9446	0,8379	0,0464
<b>70 и старше</b>	8187	107,1	877	0,1071	0,101656	0,8983	0,7915	0,0805

Источник: расчеты автора по данным ФСГС (Республика Карелия.

29 Таблица 3. Расчет ожидаемой продолжительности жизни для женщин

Возрастной период	Числ. женщин, $b_x$	к-т смертности	Числ. умерших, $a_x$	$M_x$ - отношение умерших в возрасте $x$ к числ. в возрасте $x$	$Q_x$ - вероятность для тех, кто дожил до возраста $x$ , умереть в возрасте $x$	$P_x$ - вероятность для тех, кто дожил до возраста $x$ , дожить до возраста $x+1$	$L_x$ - вероятность для родившихся дожить до возраста $x$	$N_x$ - вероятность родившихся дожить до возраста $x$ и умереть
<b>0-4</b>	17517	1,2	21,0	0,0012	0,001199	0,9988	0,9988	0,0012
<b>5-9</b>	15814	0,4	6,3	0,0004	0,000400	0,9996	0,9988	0,0004
<b>10-14</b>	15090	0,1	1,5	0,0001	0,000100	0,9999	0,9984	0,0001
<b>15-19</b>	21830	0,6	13,1	0,0006	0,000600	0,9994	0,9983	0,0006
<b>20-24</b>	32202	0,6	19,3	0,0006	0,000600	0,9994	0,9977	0,0006
<b>25-29</b>	28486	1,4	39,9	0,0014	0,001399	0,9986	0,9971	0,0014
<b>30-34</b>	26702	2	53,4	0,002	0,001998	0,9980	0,9957	0,0020
<b>35-39</b>	24305	2,8	68,1	0,0028	0,002796	0,9972	0,9937	0,0028
<b>40-44</b>	23651	4,1	97,0	0,0041	0,004092	0,9959	0,9909	0,0041
<b>45-49</b>	30166	6,6	199,1	0,0066	0,006578	0,9934	0,9869	0,0065
<b>50-54</b>	31625	9,6	303,6	0,0096	0,009554	0,9904	0,9804	0,0094
<b>55-59</b>	28912	11,5	332,5	0,0115	0,011434	0,9886	0,9710	0,0111
<b>60-64</b>	16545	14,8	244,9	0,0148	0,014691	0,9853	0,9599	0,0141
<b>65-69</b>	15063	22,8	343,4	0,0228	0,022543	0,9775	0,9458	0,0213
<b>70 и старше</b>	45124	68,6	3095,5	0,0686	0,066325	0,9337	0,9245	0,0613

*Источник:* расчеты автора по данным ФСГС (Республика Карелия..., 2014, Численность населения..., 2009)

30 Данные для столбцов численность мужчин и женщин соответствующего возрастного периода взяты из Бюллетеня "Численность населения Российской Федерации по полу и возрасту на 1 января 2009 года".

31 Коэффициент смертности взят из таблицы "Возрастные коэффициенты смертности" статистического ежегодника "Республика Карелия 2014". Показатель  $M_x$  рассчитывается по следующей формуле:

$$32 \quad M_x = \frac{a_x}{b_x}$$

где  $a_x$  - численность умерших в возрасте  $x$ ,

$b_x$  - численность живущих в возрасте  $x$ .

33 Показатель  $Q_x$  - вероятность для тех, кто дожил до  $x$  лет, умереть в возрасте  $x$  лет, находим, используя следующую формулу:



$$Q_x = \frac{2M_x}{2 + M_x}$$

35 Показатель  $P_x$  – вероятность для тех, кто дожил до  $x$  лет, дожить до возраста  $(x+1)$  год, определяется как вероятность наступления противоположного события:

36

$$P_x = 1 - Q_x$$

37 Вероятность для родившихся дожить до возраста  $x$  лет - показатель  $L_x$ , рассчитывается по следующей формуле:

38

$$L_x = \prod_{i=0 \dots x-1} P_i$$

39 Показатель  $N_x$  - вероятность родившихся дожить до возраста  $x$  и умереть в этом же возрасте, рассчитан как вероятность одновременного наступления двух зависимых событий: вероятности родившихся дожить до возраста  $x$  и вероятности доживших до возраста  $x$  умереть в данном возрасте:

$$N_x = L_x \times Q_x$$

41 При построении модели показатель  $N_x$  был принят за ожидаемую продолжительность жизни, т.е. за вероятность умереть в данном возрасте для каждого агента. Также во внимание была принята ожидаемая продолжительность жизни при рождении, рассчитываемая Росстатом для Республики Карелия. По данным ФСГС ожидаемая продолжительность жизни в 2009 году составила 66,2 лет для всего населения, 59,6 лет для мужчин и 73,1 года для женщин. В соответствии с показателями  $N_x$  для мужского и женского населения были созданы два эмпирических распределения: "муж\_прод\_жизни" и "жен\_прод\_жизни".

42 Таким образом, структура создаваемых при инициализации модели агентов воспроизводит реальную половозрастную структуру населения республики по состоянию на 2009 год.

43 Общий вид диаграммы состояний для всех агентов популяции «Население» схематично представлен на рис. 4.

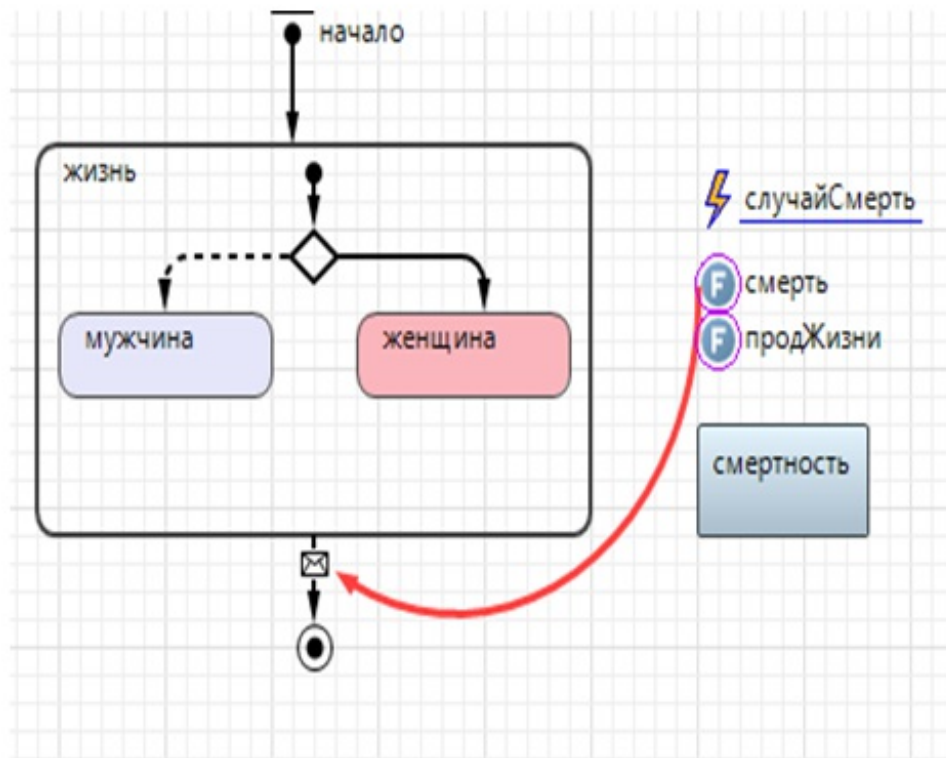


Рис. 4. Концепция диаграммы состояний агента «Население»

45 Вся популяция агентов типа «Население» при инициализации модели находится в общем состоянии «жизнь», внутри которого происходит разделение агентов по параметрам и задается специфические схемы поведения.

46 Для моделирования смертности населения в модели использован элемент событие, позволяющий осуществлять запланированные действия. На рис. 4. данное событие называется «случайСмерть» (здесь и далее в названиях элементов, создаваемых в программном продукте, отсутствуют пробелы в силу требований используемого языка программирования). Элементы под названиями «смерть» и «продЖизни» представляют функции, созданные автором для фиксирования оставшейся продолжительности жизни и алгоритма действий по истечении данной продолжительности.

47 Функция "продЖизни" рассчитывает на основе ожидаемой продолжительности жизни и текущего возраста агента сколько последнему осталось "жить":

48

$$\begin{cases} \text{продЖизни}() = \text{муж\_прод\_жизни}() - \text{возраст}(), \text{ если пол} = \text{муж}, \\ \text{продЖизни}() = \text{жен\_прод\_жизни}() - \text{возраст}(), \text{ если пол} = \text{жен}, \\ \text{продЖизни}() \geq 0 \end{cases}$$

49 Событие "случайСмерть" происходит по таймауту, равному значению продЖизни(). Наступление данного события вызовет функцию «смерть». Вызов этой функции означает отправление сообщения диаграмме состояний агента (на рис. 4. красная стрелка), при получении которого агент выходит из состояния «жизнь» и попадает в конечное состояние (изображено кругом с точкой внутри) и удаляет сам себя из популяции.

50 Еще один элемент, представленный на рис. 4., «смертность» является накопительной переменной для подсчета агентов, получивших сообщение за все модельное время. Значение данной переменной будет представлять численность умерших в Республики Карелия за рассматриваемый период.

51 Для определения числа создаваемых агентов, представляющих показатели рождаемости, в модели применяется специальный коэффициент рождаемости. Он представляет собой отношение числа родившихся за год к численности женщин репродуктивного возраста. Согласно демографическому энциклопедическому словарю<sup>3</sup>, репродуктивный возраст - это возраст женщины, в котором она способна к деторождению. Как правило, детородной принято считать женщину в возрасте 15-49 лет.

52 Согласно (Борисов В.А., 2001, С.83, тема 5) формула для расчета специального коэффициента рождаемости выглядит так:

$$53 \quad F = \frac{N}{W_{15-49}} \times 1000,$$

где  $F$  - специальный коэффициент рождаемости, показывающий число рожденных на 1000 женщин;

$N$  - число родившихся

$W_{15-49}$  - численность женщин в возрасте 15-49.

54 В расчетах модели при определении коэффициента рождаемости учитывается показатель среднего числа рождений на 1 женщину репродуктивного возраста. При инициализации модели специальный коэффициент рождаемости взят за уровень 2008 года и равен  $F = 0,06$  по данным ФСГС (Естественное движение населения..., 2008).

55 Для прогнозирования числа рожденных в текущем модельном году используется такой метод компьютерного имитационного моделирования как системная динамика, созданная в конце 1950-х Дж. Форрестером. Согласно (Forrester, 1961, Sterman, 1984), системная динамика - это направление компьютерного моделирования, исследующее поведение сложных систем во времени и в зависимости от взаимодействия их элементов посредством причинно-следственных или обратных связей, влияния среды на элементы системы. При моделировании таких систем используются специальные языки моделирования, которые также реализованы в пакете AnyLogic. Системно-динамическая модель в данном продукте представлена следующими

элементами:

- 56 ● накопители, используемые для сбора некоторых ресурсов, изменяющихся со временем и под влиянием каких-либо факторов (денег, материальных объектов, численности агентов);
- потоки, применяемые для представления динамического влияния на ресурс накопителя (эмиссия, приобретение или утилизация, рождаемость);
- динамические переменные, используемые как второстепенные элементы для сохранения постоянной константы или для промежуточного сохранения значений накопителей;
- связи, применяемые для задания зависимости между потоками и накопителями положительной или отрицательной (качество товара/цена товара, значение коэффициента рождаемости).

57 В агент-ориентированной модели реализация рождаемости производится с применением следующих элементов системной динамики, представленных на рис. 5.

58

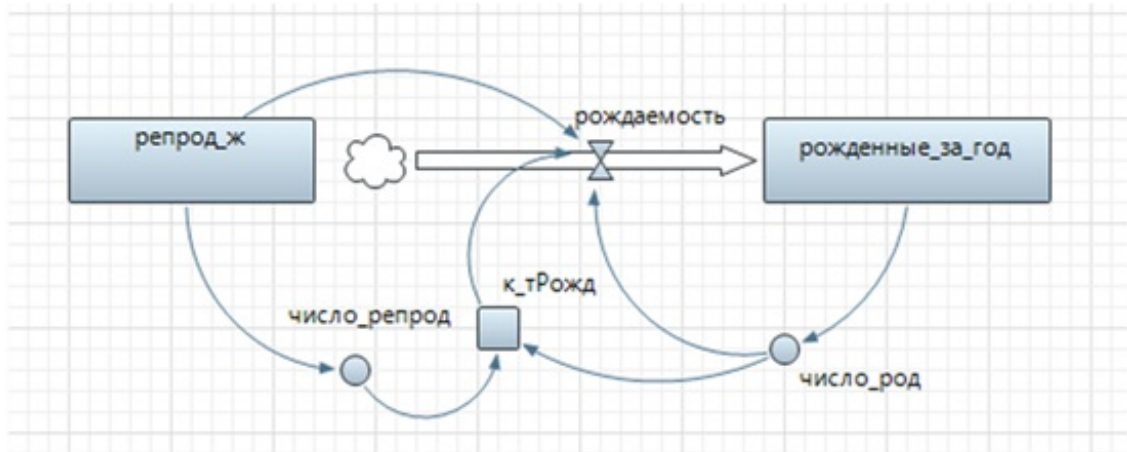


Рис. 5 Воспроизводство рождаемости с применением методов системной динамики.

59 Накопитель "рожденные\_за\_год" содержит в себе значение числа рожденных за год, формирующееся под влиянием потока "рождаемость". Поток "рождаемость" рассчитывается по следующей формуле:

60 
$$\text{рождаемость} = (\text{к\_тРожд} \times \text{репрод\_ж}) - \text{число\_род}$$

61 Связи (обозначаемые в виде стрелок), идущие к потоку "рождаемость", указывают на показатели, влияющие на его значение.

62 Динамическая переменная "число\_род" служит для промежуточного "запоминания" числа рожденных за год детей. Вычитание данной переменной из показателя рождаемости необходимо для того, чтобы избежать суммарного накопления числа рожденных детей за все моделируемые годы, а для отображения числа рожденных детей за конкретный текущий год.

63 Накопитель "репрод\_ж" фиксирует всех агентов, входящих в специально созданное состояние "женщина Репродуктивный" и выходящих из него. Связи, исходящие из данного накопителя, отражают влияние на показатель рождаемости и динамическую переменную "число\_репрод", созданную для промежуточного запоминания численности женщин репродуктивного возраста за год.

64 Накопитель "к\_тРожд" фиксирует специальный коэффициент рождаемости, рассчитываемый по формуле:

$$65 \quad k_{\text{тРожд}_t} = \frac{\text{число\_род}}{\text{число\_репрод}} - k_{\text{тРожд}_{t-1}}$$

66 В рассматриваемой формуле вычитаемый показатель  $k_{\text{тРожд}_{t-1}}$ , необходим для устранения суммирования коэффициента рождаемости по всем моделируемым годам и фиксирования значения показателя по уровню текущего года.

67 Таким образом, разрабатываемая агент-ориентированная модель является гибридной, т.к. для моделирования процессов рождаемости в рамках модели комбинируется другой подход имитационного моделирования – системная динамика.

68 После проведения расчетов и получения численного показателя "рожденные\_за\_год", необходимо создать процедуру динамического создания агентов. Для этого создан следующий элемент имитационного моделирования AnyLogic "Событие", используемый для совершения запланированных действий. В данной модели планируется каждый модельный год динамически создавать число агентов, равное переменной "число\_род", фиксирующей значение накопителя "рожденные\_за\_год".

69 Для создания необходимого количества агентов был написан Java-код действия цикла типа "n" раз с оператором for. Структура данного цикла имеет следующий вид:

```
70     for(i=0; i<число_род; i++ ) {  
        Население ребенок = add_население();  
        ребенок.пол=randomTrue(0.512)? муж : жен;  
        род_дети++;  
    }
```

71 где  $i$  – параметр инициализации цикла обозначает начальное значение переменной счетчика итераций цикла;

$i < \text{число\_род}$  – условие повторения цикла: как только условие будет нарушено (в данном случае количество итераций будет равно величине переменной «число\_род») цикл остановит действие;

$i++$  — действие меняющее счетчик итераций после совершения каждого

шага цикла.

72 В фигурных скобках указан Java-код действия, производимого на каждом шаге цикла. Данный код добавляет нового агента (условно названного «ребенок») в популяцию, фиксируя время его рождения текущим модельным временем. Параметр «пол» для нового агента определяется согласно распределению вероятностей. Долю мальчиков в общей численности рожденных примем за постоянную величину, согласно (Шахотько, 1999) равную 0,512:

73 `ребенок.пол = randomTrue(0.512) ? муж : жен,`

74 где `ребенок.пол` — переход к параметру `пол` внутри созданного агента; `randomTrue(0.512)` — функция вероятностного распределения, генерирующая истинное значение с заданной вероятностью, т.е. применительно к разрабатываемой агент-ориентированной модели вероятность исхода истинного значения равно 51,2%.

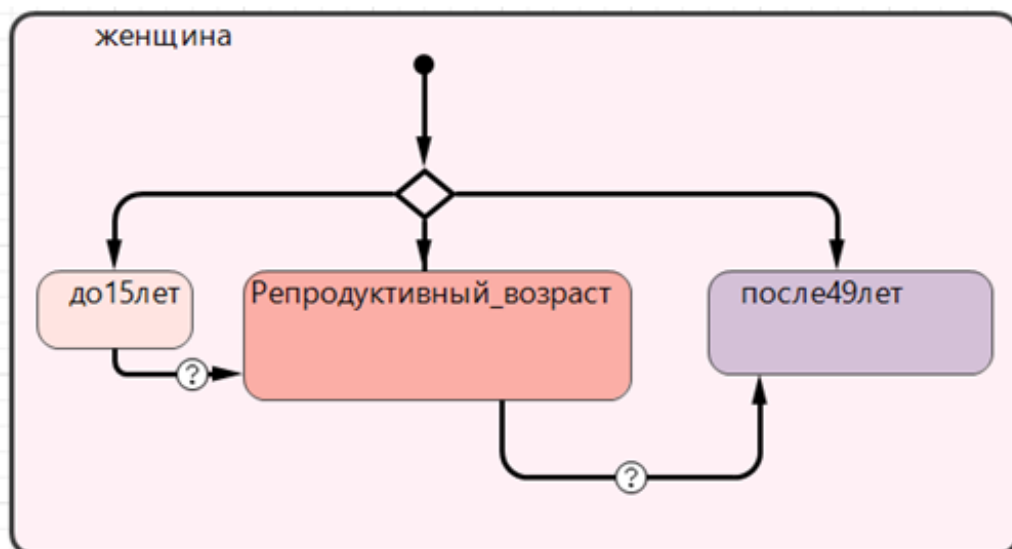
`randomTrue(0.512) ? муж : жен` — выражение, означающее, что при исходе истинного значения параметру `ребенок.пол` будет присвоено значение «мужской», иначе «женский».

75 Таким образом, при динамическом добавлении агентов в популяцию, мужской пол будет присвоен 51,2 % агентам, женский - 48,8% соответственно.

76 Для сбора статистики создан накопитель "род\_дети", который суммирует всех родившихся детей за все модельное время.

77 Моделирование процесса рождаемости тесно связано с поведением агентов, значение параметров пола которых равно «женский». В рамках моделирования рождаемости диаграмма состояний агентов-женщин представляет следующую схему (рис. 6).

78



79 При моделировании рождаемости агент «женщина» может находиться в следующих состояниях:

- 80 ● до 15 лет – для агентов, не достигших репродуктивного возраста;
- репродуктивный возраст – для агентов, возраст которых входит в период 15-49 лет;
- после 49 лет – для агентов, возраст которых вышел за границы репродуктивного.

81 Переход в состояние дорепродуктивного возраста, которое в модели называется "до 15", при инициализации происходит согласно распределению по возрасту (население\_жен\_возраст), а для создаваемых агентов автоматически, т.к. при создании возраст агентов принимает значение 0 и изменяется с каждым модельным годом на 1 пункт. Выход из этого состояния происходит при условии достижения агентом 15 лет:

$$82 \quad \text{возраст}() = \text{minРепродуктивный}$$

83 где  $\text{возраст}()$  — текущий возраст агента (скобки указывают, что переменная динамическая и принимает собственное значение для каждого агента);

$\text{minРепродуктивный}$  — минимальный репродуктивный возраст женщины, равный 15.

84 Вход в состояние репродуктивного возраста, называемого в модели "Репродуктивный", при инициализации модели происходит в соответствии с распределением возраста при условии:

$$85 \quad \text{minРепродуктивный} \leq \text{возраст}() \leq \text{maxРепродуктивный}$$

86 где  $\text{maxРепродуктивный}$  - максимальный репродуктивный возраст женщины, равный 49.

87 Переход в состояние "Репродуктивный" для создаваемых агентов происходит после их выхода из предыдущего состояния "до 15".

88 Выход из состояния репродуктивного возраста происходит при выполнении условия:

$$89 \quad \text{возраст}() > \text{maxРепродуктивный}$$

90 Состояние "Репродуктивный" необходимо для ведения статистики по агентам, отображающим женщин, репродуктивного возраста, для расчета специального коэффициента рождаемости по алгоритмы, описанному выше.



91 **Валидация и корректировка модели.** На этапе валидации модели происходит проверка модели на способность верно отразить поведение и правила функционирования агентов. Это процесс апробации модели на факт ее способности ответить на поставленные вопросы разработчика.

92 Модель откалибрована таким образом, чтобы статистические данные, рассчитанные на популяции агентов, совпали с наибольшей возможной точностью с реальными данными федеральной статистики о численности населения, его половозрастной структуре.

93 **Калибровка половозрастной структуры населения.** Агент-ориентированная модель социально-экономической системы Республики Карелия реализована на период с 2009 по 2014 гг. Для калибровки модели использованы данные о состоянии Республики Карелия, представленные в статистических сборниках Карелиястата и Росстата.

94 В таблице 4 приведено сравнение полученных в результате прогона модели значений численности населения республики с официальными данными.

95 Таблица 4 Численность населения Республики Карелия за период с 2009 по 2014 гг.

	Численность населения, человек					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Данные статистики	653800	648700	642600	639700	636900	634400
Результаты модели	<b>653800</b>	<b>637200</b>	<b>639700</b>	<b>627000</b>	<b>631600</b>	<b>629100</b>
Отклонение, %	<b>0</b>	<b>-1,8</b>	<b>-0,45</b>	<b>-1,98</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>

*Источник:* данные Карелиястата (Статистический ежегодник 2015), результаты модели.

96 При моделировании численности населения республики удалось спрогнозировать резкое снижение численности в 2010 году. Отсутствие постепенной тенденции к снижению населения в модели может объясняться ее динамичностью и несовпадением реального и модельного времени подсчета статистики. Среднее арифметическое отклонений по модулю составило (без учета 2009 года) 1,166%.

97 На рис. 7 представлено сравнение полученных результатов с реальными данными о динамике численности мужского и женского населения.

	2009		2010		2011		2012		2013		2014	
	муж	жен	муж	жен	муж	жен	муж	жен	муж	жен	муж	жен
Статистика	298,3	355,5	295,8	352,9	292,8	349,8	291,5	348,2	290,2	346,7	289,2	345,2
Модель	298,3	355,5	289,6	347,6	293,0	346,7	288,6	338,4	292,4	339,2	291,9	337,2
Отклонение, %	0	0	-2,1	-1,5	0,07	-0,9	-0,99	-2,8	0,76	-2,2	0,93	-2,3

Рис. 7 Численность мужского и женского населения Республики Карелия за период с 2009 по 2014 гг., тыс. человек

99 Средний показатель отклонений равен: для мужчин 0,97 %, для женщин 1,94%.

100 Медленный темп снижения численности женщин по сравнению с результатами модели, может означать, что в целом женщины живут дольше рассчитанной ожидаемой продолжительности жизни. Это подтверждается большой численностью женщин в возрасте от 70 и старше (Бюллетень численности..., 2009-2013).

101 Для выявления корректирующего коэффициента к рассчитанной ожидаемой продолжительности жизни женщин был проведен эксперимент «Калибровка». Данный эксперимент совершает множество прогонов модели с разными значениями искомого коэффициента и с помощью оптимизатора подбирает оптимальное значение. Набор данных, к которому с использованием корректирующего коэффициента должны были бы приближены результаты моделирования, состоит из численности женщин, умерших в разные возрастные категории с учетом женского населения детализированных возрастных групп.

102 В результате моделирования эксперимента было выявлено, что продолжительность жизни женщин дольше рассчитанной приблизительно в 1,35 раза. В процессе корректировки модели был учтен данный корректирующий коэффициент. Результаты моделирования с учетом корректировки представлены на рис. 8.

103

	2009		2010		2011		2012		2013		2014	
	муж	жен	муж	жен	муж	жен	муж	жен	муж	жен	муж	жен
Статистика	298,3	355,5	295,8	352,9	292,8	349,8	291,5	348,2	290,2	346,7	289,2	345,2
Модель	298,3	355,5	293,5	348,7	295,0	348,9	290,5	342,9	293,0	346,3	292,7	343,9
Отклонение, %	0	0	-0,78	-1,19	0,75	-0,26	-0,34	-1,52	0,96	-0,12	1,21	-0,38

Рис. 8 Численность мужского и женского населения Республики Карелия и скорректированная численность популяции агентов за период с 2009 по 2014 гг., тыс. человек

104 Средний показатель отклонений равен: для мужчин 0,36%, для женщин – 0,69%.

105 В процессе моделирования удалось воспроизвести структуру населения республики по полу (см. рис. 9).

106

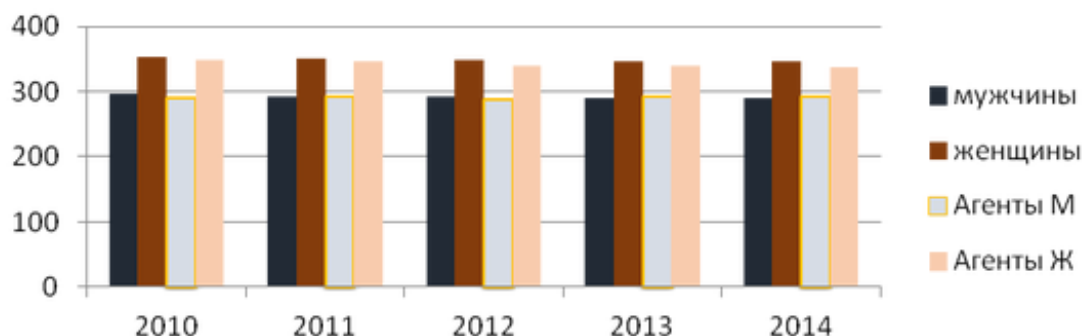


Рис. 9 Структура населения республики и популяции агента «Население» по полу

107 В таблице 5 сравнивается количество рожденных за год.

108 Таблица 5 Количество рожденных за год в период с 2009 по 2014 гг.

	Численность рожденных, тыс. человек					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Данные статистики	788,4	779,2	772,0	802,7	755,3	781,6
Результаты модели	788,4	787,4	786,2	782,9	777,4	771,8
Отклонение, %	0	1,05	1,8	-2,5	2,9	-1,25

109 Среднее отклонение по модулю составило 1,91%.

110 По данным модели видна тенденция к постепенному снижению рождаемости и та же тенденция наблюдалась по официальным данным, за исключением резкого скачка в 2012 г. и резкого снижения в последующем 2013 г.

111 **Апробация модели: реализация демографических прогнозов.** В модели реализован прогноз численности населения и численности рожденных за год на период до 2025.

112 На рис. 10 представлен прогноз численности постоянного населения Республики Карелия в сравнении с результатами прогноза, разработанного федеральной службой государственной статистики, и прогноза социально-экономического развития, разработанного Министерством экономического развития и промышленности Республики Карелия<sup>4</sup>.

	2015			2016			2020, прогноз			2025, прогноз		
	Всего	Муж.	Жен.	Всего	Муж.	Жен.	Всего	Муж.	Жен.	Всего	Муж.	Жен.
Прогноз модели	636,3	290,3	346,0	635,2	289,9	345,3	626,2	283,6	342,6	614,1	278,8	335,3
ФСГС	632,5	288,4	344,1	629,9	287,2	342,7	616,6	282,0	334,6	596,2	273,1	323,1
Прогноз СЭРРК	631,2	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	622,3/ 623,0*	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д

Рис. 10 Прогноз численности населения Республики Карелия до 2025 года, тыс. человек

114 \* Базовый вариант/целевой вариант сценария. н/д – нет данных.

115 В таблице 6 представлен прогноз численности рожденных за год.

116 Таблица 6 Прогноз численности рожденных на период до 2025 года.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025
Прогноз	7782	7729	7683	7673	7631	7508	7360
ФСГС <sup>5</sup>	7726 (факт)	7316	6976	6903	6538	6329	5586

117 **Выводы.** В процессе разработки модели был осуществлен сбор и анализ статистических данных, необходимых для ее формализации и наполнения. Выявленные закономерности демографического поведения населения были формализованы и внедрены в модель.

118 В рамках валидации и апробации модели была осуществлена калибровка корректирующего коэффициента к рассчитанной ожидаемой продолжительности жизни женщин. Полученный в результате эксперимента корректирующий коэффициент позволил улучшить точность моделирования уменьшив среднюю величину отклонений модельных данных от статистических с 1,94% до 0,69% (в 2,8 раза).

119 В результате валидации и апробации была доказана адекватность модели. Разработанная агент-ориентированная модель верно воспроизводит как начальное состояние населения региона, так и динамику его основных характеристик.

120 Результаты моделирования могут быть использованы при разработке различных документов регионального планирования или программирования, при составлении финансового обоснования инвестиционных проектов или иных мероприятий, осуществляемых за счет целевого финансирования. В частности, результаты моделирования включают:

- 121● прогноз численности населения Республики Карелия на период до 2025 года;
- прогноз числа родившихся на период до 2025 года.

Возможность проведения сценарных расчетов в модели позволяет автору предложить разработанную агент-ориентированную модель в качестве инструмента разработки программных документов в сфере содействия занятости и стратегии социально-экономического развития Республики Карелия.

---

**Remarks:**

1. <http://www.anylogic.ru/>

2. Борщев А.В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // Exponenta Pro, N 3-4, 2004, С. 43

3. Демографический энциклопедический словарь/ Гл. ред. Д. И. Валентей. — М.: Сов. энцикл., 1985. — 608 с.

4. Официальный сайт Министерства экономического развития и промышленности Республики Карелия. Режим доступа: <http://economy.karelia.ru/ru/action/4868/>

5. Территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Республике Карелия. Демографический прогноз до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: [http://krl.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/krl/resources/b31918004bd284fd8d9e9fa3f8d7ae54/75181.pdf](http://krl.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/krl/resources/b31918004bd284fd8d9e9fa3f8d7ae54/75181.pdf)

---

# Особенности применения агент-ориентированного подхода при моделировании демографических процессов

**Самсонова Н. А.**

*Самсонова Наталья Александровна, лаборатория компьютерного моделирования социально-экономических процессов, ЦЭМИ РАН;  
Российская Федерация, Москва  
Нахимовский проспект, 47*

## **Аннотация**

Данная статья описывает процесс разработки агент-ориентированной модели социально-экономического развития региона, начиная с ее демографического блока. Концепция демографического блока разрабатываемой агент-ориентированной модели заключается в имитации демографической ситуации региона, включающей изменение численности населения, его половозрастной структуры, численности женщин репродуктивного возраста, числа родившихся и умерших. Основным условием модели является моделирование численности постоянного населения региона и естественных процессов движения населения без учета миграционных потоков. В процессе разработки модели был осуществлен сбор и анализ статистических данных, необходимых для ее формализации и наполнения. Выявленные закономерности демографического поведения населения были формализованы и внедрены в модель. В рамках валидации и апробации модели была осуществлена калибровка корректирующего коэффициента к рассчитанной ожидаемой продолжительности жизни женщин. Результаты моделирования могут быть использованы при разработке различных документов регионального планирования или программирования, при составлении финансового обоснования инвестиционных проектов или иных мероприятий, осуществляемых за счет целевого финансирования.

**Ключевые слова:** естественное движение населения, имитационное моделирование, агент-ориентированная модель, статистика населения, демографические прогнозы, стратегическое планирование.

**Дата публикации:** 03.07.2018

**Ссылка для цитирования:**

Самсонова Н. А. Особенности применения агент-ориентированного подхода при моделировании демографических процессов // Искусственные общества. 2018. Т. 13. Выпуск 3 [Электронный ресурс]. Доступ для зарегистрированных пользователей. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800000120-1-1/> (дата обращения: 19.08.2019). DOI: 10.18254/S0000120-1-1

---

User code: 0; Download date: 19.08.2019; URL - <http://artsoc.jes.su/s207751800000120-1-1/> All right reserved.