

# МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СОЦИАЛЬНО-ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГОРОДА

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках научного проекта № 15-32-01219.

## A METHOD FOR DEVELOPING A SIMULATION MODEL OF THE CITY'S SOCIO-DEMOGRAPHIC SPHERE

*A. Копырин*

### Annotation

The issue is devoted to the method of construction of a simulation model of socio-demographic system of the city. It presents an analysis of the existing approaches to modeling of the socio-economic impact of "mega-events" on the city economy and considers the construction of a system-dynamic model of labor market and social infrastructure of the municipality on the example of Sochi-city.

**Keywords:** Socio-demographic system; simulation; municipal management.

*Копырин Андрей Сергеевич*  
К.э.н., доцент,  
Сочинский государственный  
университет

### Аннотация

Статья посвящена методике построения имитационной модели социально-демографической системе города. В ней представлен анализ имеющихся подходов к моделированию воздействия на социально-экономическую систему города "мегасобытий" и рассмотрено построение системно-динамической модели рынка труда и социальной инфраструктуры муниципального образования на примере города-курорта Сочи.

### Ключевые слова:

Социально-демографическая система; имитационное моделирование; управление муниципальным образованием.

## ВВЕДЕНИЕ

Подготовка к проведению XXII Зимних Олимпийских игр в Сочи привлекла масштабные инвестиции в развитие всей территории города. Наряду с возведением собственно олимпийских объектов программа подготовки включала ускоренное развитие транспортной, инженерной инфраструктуры, а также сопутствующие инвестиции – строительство и реконструкцию социальных объектов – школ и больниц. Строительство в больших объемах и в сжатые сроки вместе с сопутствующим мультипликативным эффектом существенно изменили ситуацию на рынке труда города. Для успешного послеолимпийского развития данной сферы необходима выработка новых подходов к рынку труда в условиях отсутствия значительного финансирования.

Актуальность исследуемой проблемы основывается на необходимости послеолимпийской концепции развития города Сочи и устранении вызванных форсированным развитием территорий диспропорций и системных дисбалансов в экономике города.

Развитие города в начале 2000-х годов основывалось на эксплуатации санаторно-курортных услуг, что и

определило структуру и размер рынка труда в городе. Реализация проекта по подготовке к Олимпийским Играм снизила рекреационно-курортный потенциал города и вызвала рост числа временно проживающих и мигрантов, что ставит задачи по поиску новых концепций развития экономики муниципального образования в целом и рынка труда в частности.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являются рынок труда, а также демографическая система муниципального образования города Сочи. Предметом исследования являются взаимовлияние демографии города и трудового рынка, а также влияние масштабной программы строительства на указанную систему.

**Цель исследования.** Цель исследования заключается в выявлении взаимосвязи между факторами экономической (рынок труда) и социальной (население города, социальная инфраструктура) муниципальной структуры и построении экономико-математической модели объясняющей динамику поведения демографической системы и рынка труда города Сочи.

Информационно-документальная база исследования

опирается на статистические материалы Федеральной службы государственной статистики, территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Краснодарскому краю, законодательные акты РФ, публикации в электронных средствах массовой информации.

#### Построение модели социально-демографической системы города-курорта Сочи

При построении модели, в качестве метода исследования, была выбрана системная динамика.

*Построение системно-динамической модели опирается на следующий алгоритм [1]:*

1. Систематизация и формализация данных.
2. Построение когнитивных моделей.
3. Построение потоковых диаграмм.
4. Верификация полученной модели.
5. Анализ чувствительности и оптимизация структуры модели.
6. Имитационное моделирование и проведение вычислительных экспериментов.
7. Анализ результатов моделирования.

*Методика основана на следующих положениях:*

- ◆ Выходом этапа концептуального моделирования являются диаграммы причинно-следственных связей, для их построения необходимо выделить ключевые факторы, влияющие на систему и взаимосвязи между ними.
- ◆ Социально-демографическую систему города можно разбить на конечное число взаимосвязанных блоков, каждый из которых характеризуется особой внутренней спецификой.
- ◆ Взаимовлияние блоков можно формализовать взаимодействием конечного числа экономических показателей.
- ◆ Социальная-демографическая сфера охватывает факторы, влияющие на рынок труда, население и степень обеспеченности населения социальными услугами.

Исходя из представленных выше положений, модель города будет состоять из двух уровней: агрегированный уровень и уровень блоков. Каждая блок представляет один обособленный сектор социально-демографической системы города, построение модели которого достаточно формализованный процесс. Верхний иерархический уровень модели представляет взаимосвязи между блоками и общие показатели города в целом, а также экзогенные переменные, которые воздействуют на модель в целом.

*Данный подход имеет следующие достоинства:*

- ◆ Формализованная процедура разделения модели на блоки позволяет упростить этап построения модели.
- ◆ Обособленная структура блоков позволяет про-

водить тонкую подстройку модели под конкретные условия, проводя изменения только в тех ее частях, где необходимо. Возможна замена частей подсистемы без необходимости изменения всей модели в целом.

- ◆ Разделение по блоком предоставляет возможность проводить детальный сценарный анализ и прогнозирование, позволяя исследовать воздействия на систему в целом и отдельные факторы как на микро-, так и на макроуровне.

По данной оригинальной методике и была построена модель социально-демографической системы города Сочи.

Целью работы является выявление взаимовлияния рынка труда города, его социальной сферы, а также бюджета и демографической системы. Исходя из этого, целесообразно разделить общую модель на четыре блока: демографический, финансово-трудовой, бюджетный и социальный.

Каждый блок представляет собой инкапсулированную конструкцию с определенным набором входных и выходных параметров. Инкапсуляция в данном контексте означает, что каждый отдельно взятый блок, с точки зрения остальных, представляет собой "черный ящик" и любые изменения в его внутренней структуре не будут оказывать влияния на структуру других блоков, так как взаимодействия будут осуществляться с помощью входных и выходных переменных, которые и будут играть роль интерфейса.

Третьей составляющей модели, помимо параметров внутренней структуры и интерфейсных переменных, является система показателей, характеризующих модель. То есть для удобства обращения с моделью необходимо выделить индикаторные ключевые факторы.

Основные взаимосвязи модели на высоком уровне абстракции представлены на **рис. 1** (на данном рисунке трехмерными элементами представлены показатели-массивы, включающие в себя несколько схожих индикаторов разных отраслей. Например, "Число работающих" в строительстве, в торговле, в гостиницах и ресторанах, в транспорте и т.д.).

На основании ретроспективных статистических данных [2; 3; 4] был проведен корреляционно-регрессионный анализ зависимостей рассматриваемой модели. Путем дальнейшей формализации была построена потоковые диаграммы блоков и сформулированы уравнения переменных. В качестве среды моделирования был использован программный продукт Powersim studio. Горизонт моделирования составляет 25 лет (с 2001 по 2025), шаг моделирования – 1 год.





Таблица 1.

## Переменные демографического блока.

Переменная	Тип	Описание	Формула
B_d	переменная	Число родившихся в городе в год. Определяется коэф. рождаемости и числом взрослых	$P\_d * FR\_d$
DO_d	переменная	Число смертей среди пожилых людей в год определяется через средний срок жизни и верхней границы данной категории	$PO\_d * DRO\_d$
DRO_d	переменная	Коэффициент смертности у пожилых людей	48,15/1000
DRWA_d	переменная	Смертность в средней возрастной группе как процент к ее численности	5,85/1000
DRY_d	переменная	Смертность в молодой возрастной группе как процент к ее численности	0,877/1000
DWA_d	переменная	Число смертей в средней возрастной категории в год	$PWA\_d * DRWA\_d$
DY_d	переменная	Число смертей в молодой возрастной категории в год	$PY\_d * DRY\_d$
Em_d	переменная	Общая эмиграция из города	$-15,95 * (T - T_0) + 2826,13$
EmO_d	переменная	Количество людей эмигрирующих из города каждый год в категории пожилых людей.	$Em\_d * 6,8\%$
EMWA_d	переменная	Количество людей покидающих город каждый год в средней возрастной группе.	$Em\_d * 83,4\%$
EmY_d	переменная	Количество молодых людей выезжающих из города каждый год.	$Em\_d * 9,8\%$
FR_d	переменная	Уровень рождаемости как процент к количеству взрослых людей	$(0,56 * (T - T_0) + 8,6) / 1000$
Im_d	переменная	Общая иммиграция в город	$409,25 * (T - T_0) + 4003,89$
ImO_d	переменная	Число пожилых людей въезжающих в город каждый год	$Im\_d * 7,1\%$
ImWA_d	переменная	Число людей средней возрастной группы въезжающих в город каждый год	$Im\_d * 84,6\%$
ImY_d	переменная	Число молодых людей въезжающих в город каждый год.	$Im\_d * 8,3\%$
P_d	переменная	Общая численность населения города	$PWA\_d + PO\_d + PY\_d$
PO_d	уровень	Население города старше 60 лет	$PO\_d(0) = 82400$ $PO\_d(t+1) = PO\_d(t) + WAtO\_d(t) + Im\_d(t) - DO\_d(t) - Em\_d(t)$
PWA_d	уровень	Население города в возрасте от 16 до 60 лет	$PWA\_d(0) = 242600$ $PWA\_d(t+1) = PWA\_d(t) + YtoO\_d(t) + ImWA\_d(t) - EmWA\_d(t) - WAtO\_d(t) - DWA\_d(t)$
PY_d	уровень	Население города младше 16 лет	$PY\_d(0) = 69600$ $PY\_d(t+1) = PY\_d(t) + B\_d(t) + ImY\_d(t) - EmY\_d(t) - DY\_d(t) - YtoWA\_d(t)$
WAtO_d	переменная	Скорость "перехода" из средней возрастной группы в категорию пожилых. Границы средней группы 16 до 60, поэтому задержка перехода 45 лет	$PWA\_d / 45$
YtoWA_d	переменная	Скорость "перехода" из младшей возрастной группы в среднюю. Порог перехода - 16 лет	$PY\_d / 15$

ные учреждения и др. В бюджетном блоке представлены взаимосвязи доходов и расходов муниципального бюджета, а также финансовые потоки в отрасли здравоохранения и образования. Финансово-трудовой блок описывает производственную сферу города. Ключевыми факторами моделируемыми в данной части работы являются количество работающих в крупнейших отраслях и прибыль предприятий.

**ВЕРИФИКАЦИЯ**

Для повышения уровня доверия к результатам моделирования были формальные процедуры верификации.

Верификация модели проводится с целью улучшения модели и проверки ее обоснованности (валидности), т.е. того, насколько хорошо полученная модель описывает поведение моделируемой системы. При верификации модели может уточняться структура и параметры (например, начальные условия и константы), т.е. производится калибровка модели.

В ходе проведения формальных процедур верификации были проверены логические взаимосвязи для подтверждения верности логической структуры имитационной модели.

Для примера приведем соотношение ретроспективных фактических данных и результатов, полученных по модели путем подстановки корректных исходных данных по нескольким показателям. Результаты сравнения представлены в таблице 2 и на рис. 3–5 (на рисунках прерывистой штриховкой показаны модельные данные).

Далее средняя ошибка рассчитана по формуле:

$$er = \sum \left( \frac{|x - \tilde{x}|}{x * n} \right) \quad [1]$$

где  
 x – фактическое значение,  
 $\tilde{x}$  – прогнозное значение,  
 n – численность выборки).

Таблица 2.

Сравнение прогнозных и модельных показателей.

год	Работающие в строительстве, чел			Численность населения, чел			Собственные доходы бюджета, млн. руб.			
	факт	модель	ошибка	факт	модель	ошибка	факт	модель	ошибка	
2001	10649	10649	0,00%	395 600	395 600	0,00%	1698	1795	5,72%	
2002	12408	12968	4,51%	395 800	394 731	0,27%	2206	2266	2,72%	
2003	13225	12745	3,63%	396 800	394 436	0,60%	2700	2736	1,35%	
2004	16947	13278	21,65%	396 500	394 719	0,45%	3494	3206	8,23%	
2005	15255	13845	9,24%	397 500	395 588	0,48%	4474	3677	17,82%	
2006	16611	14447	13,03%	398 900	397 048	0,46%	3204	4147	29,42%	
2007	16904	15371	9,07%	401 400	399 108	0,57%	4607	4617	0,22%	
2008	17423	16578	4,85%	406 800	401 775	1,24%	5156	5088	1,33%	
2009	17500	17071	2,45%	410 987	405 057	1,44%	5394	5558	3,03%	
2010	18065	20748	14,85%	415 087	408 965	1,47%	5915	6028	1,92%	
2011	22641	23516	3,86%	421 452	413 506	1,89%	6797	6499	4,40%	
2012	25409	24370	4,09%	437 604	418 693	4,32%	6908	6969	0,89%	
2013	24203	22875	5,49%	445 209	424 537	4,64%	7472	7439	0,44%	
2014	7169	14831	106,8%	473 206	431 049	8,91%	6463	7910	22,38%	
2015	-	-	-	467681	438244	6,29%	-	-	-	
Средняя ошибка			14,54%				2,20%			7,13%



Рисунок 3. Сравнение прогнозных и модельных данных по показателю "численность населения".



Рисунок 4. Сравнение прогнозных и модельных данных по показателю "собственные доходы бюджета".



Рисунок 5. Сравнение прогнозных и модельных данных по показателю "работающие в строительстве".

Остальные взаимосвязи были проверены подобным образом. По результатам проведения процедур верификации был сделан вывод о том, что поведение модели, в целом, согласуется с экспертными представлениями о предметной области и модель имеет верную логическую структуру и может использоваться для прогнозирования будущих тенденций в исследуемой сфере.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, можно сказать, исследование социально-демографической системы города для обеспечения принятия управленческих решений в период после "мега-события" является актуальным. В связи со стохастическим характером исследуемого объекта и сложной многоконтурной структурой оптимальным методикой можно считать имитационное моделирование. В данной работе были представлены следующие результаты:

1. Предложена структура системно-динамической модели социально-демографической системы города-курорта Большого Сочи. Обоснована блоковая архитектура модели.

2. Разработана комплексная системно-динамическая модель исследуемой сферы, включающая демогра-

фический, финансово-трудоустрой, социальный и бюджетный блоки. Каждый блок включает когнитивную модель и системно-динамическую модель, представленную поточковой диаграммой. Помимо указанных блоков модель включает интерфейсные переменные и взаимосвязи между блоками.

3. Представленные блоки интегрированы в комплексную модель социально-демографической системы города Сочи. Проведены процедуры валидации.

Точность модели основывается на статистических данных находящихся в открытом доступе. К сожалению, эти данные не являются полными и не включают многие показатели, значения которых в модели были получены методом экспертных оценок. Но при наличии более полной информации возможна коррекция модели, что позволит получать более точные и достоверные прогнозы.

*В дальнейшем предполагается:*

- ◆ проведение вычислительных экспериментов выявляющие воздействие на социально-экономическую структуру муниципального образования программы подготовки к проведению Зимних Олимпийских Игр;
- ◆ проведение анализа и моделирования рынка труда города-курорта Сочи в постолимпийский период.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Копырин А. С. Системно-динамическое моделирование как инструмент для прогнозирования и сценарного анализа на уровне муниципального образования (на примере города-курорта Сочи) // Региональная экономика: теория и практика. – 2008. – № 27. – С. 57–65.
2. База данных показателей муниципальных образований: [сайт]. URL: <http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst03/DBInet.cgi> (дата обращения: 11.06.2015)
3. Паспорт города Сочи. – Краснодар. Краснодаркрайстат, 2005 г.
4. Паспорт города-курорта Сочи. – Краснодар. Краснодаркрайстат, 2009 г.

© А.С. Копырин, ( [kopyrin\\_a@mail.ru](mailto:kopyrin_a@mail.ru) ), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,

Сочинский Государственный Университет

