

УДК 330.46
ББК 65.9

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОГО РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Гафарова Е.А.¹

*(Институт социально-экономических исследований
Уфимского научного центра РАН, Уфа)*

В статье представлен обзор отечественных имитационных моделей регионального развития, базирующихся на системной динамике и агент-ориентированном подходе. Показано, что универсальные модели, не учитывающие специфику развития региона и не верифицированные на его статистических данных, имеют низкую точность прогноза. Рассмотрены наиболее известные российские модели социально-экономического развития регионов, проведен их сравнительный анализ.

Ключевые слова: имитационное моделирование регионального развития, прогнозирование социально-экономического развития региона, системная динамика, агент-ориентированное моделирование.

1. Введение

Работа выполнена при поддержке РГНФ (проект №13-02-00039 "Технология моделирования комплексного развития региона на основе имитационного подхода").

Одним из наиболее эффективных экономико-математических подходов к исследованию и прогнозированию регионального развития является имитационное моделирова-

¹ Елена Аркадьевна Гафарова, кандидат экономических наук (gafarova@mail.ru).

ние, позволяющее сформировать и исследовать многовариантные сценарии развития моделируемой системы, оценить социально-экономическую эффективность различных управленческих решений для региона и выбрать оптимальный вариант его развития.

Как известно, различают три подхода в имитационном моделировании: дискретно-событийное, системная динамика, агент-ориентированное моделирование. Два последних из них применяются для моделирования регионального развития. При этом наиболее востребованной для моделирования регионального развития до последнего времени считалась системная динамика. При моделировании с помощью указанной концепции абстрагируют от индивидуальных объектов системы и рассматривают только агрегированные элементы системы (например, агрегированный потребитель, агрегированный производитель). Системная динамика при компьютерном моделировании реализуется с помощью графических диаграмм потоков и накопителей, отражающих причинно-следственные связи в моделируемой системе. Прогнозная динамика основных социально-экономических показателей региона обеспечивается за счет наличия дифференциальных уравнений, рекурсивных отношений, а также зависимостей от лаговых переменных, полученных средствами эконометрики или нейроинформатики. Агент-ориентированное моделирование представляет относительно новое направление, учитывающее индивидуальное поведение активных объектов (агентов), а также их взаимодействия. В отличие от системной динамики, агентный подход позволяет оперировать не агрегированными элементами системы, а совокупностью агентов с определенным набором свойств (например, агенты - потребители, агенты - производители).

В данной статье рассмотрим эволюцию имитационных моделей социально-экономического развития регионов.

2. Универсальные имитационные модели развития регионов

Обзор имитационных моделей для прогнозирования регионального развития начнем с готовых решений, предлагаемых некоторыми фирмами для региональных и муниципальных органов власти. Примерами могут служить программно-инструментальный комплекс «Прогноз» (ЗАО «Прогноз») [8] или система «Губернатор» (ООО «Франклин&Грант. Риск консалтинг») [5], предназначенные для мониторинга, анализа и прогнозирования регионального развития. Такие универсальные модели представляют собой, как правило, систему зависимостей, описывающих состояние региональной экономики на краткосрочную и среднесрочную перспективу. Математические модели, используемые для прогнозирования, могут настраиваться на специфику каждого моделируемого региона и его статистические данные. Обычно для прогнозирования на основе таких универсальных моделей используются статистические данные за 5-7 лет. Такой короткий ретроспективный анализ, на наш взгляд, не способствует достоверному прогнозированию. Кроме того, отсутствие специалистов по экономико-математическому моделированию среди пользователей таких систем не позволяет произвести грамотную настройку модели на специфику региона (да и не всегда это возможно). Все сказанное приводит к тому, что региональное прогнозирование на основе таких моделей приобретает формальный характер.

Поясним сказанное на примере. Проверим качество моделей, заложенных в программно-инструментальный комплекс «Прогноз», применительно к статистическим данным по республике Башкортостан. Для примера был выбран такой показатель, как численность занятых в экономике. В соответствии с методикой ЗАО «Прогноз», расчетное (прогнозное) значение этого показателя определяется в системе следующей формулой:

$$L[t] = L[t-1] \cdot \left(LM1[t] \cdot T_VR[t] + LM2[t] \cdot \frac{TR[t]}{TR[t-1]} \cdot 100 \right) / 100,$$

где $L[t]$, $L[t-1]$ — численность занятых в экономике (среднегодовая) в моменты времени t и $t-1$ соответственно, тыс. человек;

$T_VR[t]$ — валовой региональный продукт, в % к предыдущему в сопоставимых ценах;

$LM1[t]$, $LM2[t]$ — оцениваемые коэффициенты влияния;

$TR[t]$, $TR[t-1]$ — численность трудовых ресурсов в моменты времени t и $t-1$ соответственно, тыс. человек.

Произведем расчеты по этой модели для статистических данных Республики Башкортостан в программе Eviews. В таблице 1 представлены оцененные значения коэффициентов LM1 и LM2 (столбец Coefficient), значения t-статистик о проверке значимости каждого коэффициента модели (столбец t-Statistic), коэффициент детерминации (величина R-squared), характеризующий качество подгонки, и др.

Таблица 1. Результаты оценивания регрессионного уравнения в программе Eviews

Dependent Variable: L				
Method: Least Squares				
Sample: 2007 2011				
L= L(-1)*(LM1*T_VR+LM2*TR_I*100)/100				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LM1	-0,026753	0,074960	-0,356894	0,7448
LM2	1,021533	0,085253	11,98242	0,0013
R-squared	0,576451	Mean dependent var		1803,340
Adj. R-squared	0,435268	S.D. dependent var		40,23006
S.E. of regression	30,23235	Akaike info criterion		9,944876
Sum squared resid	2741,985	Schwarz criterion		9,788652
Log likelihood	-22,86219	Durbin-Watson stat		1,715462

Как видно из таблицы, построенное регрессионное уравнение не является адекватным, поскольку наблюдается низкое качество подгонки расчетных и наблюдаемых значений ($R\text{-squared}=0,576$), а коэффициент LM(1) не является статистиче-

ски значимым ($t\text{-Statistic}=-0,356894$). Для наглядности наблюдаемые и расчетные значения для численности занятых в экономике РБ, а также остатки модели представлены на рисунке 1.

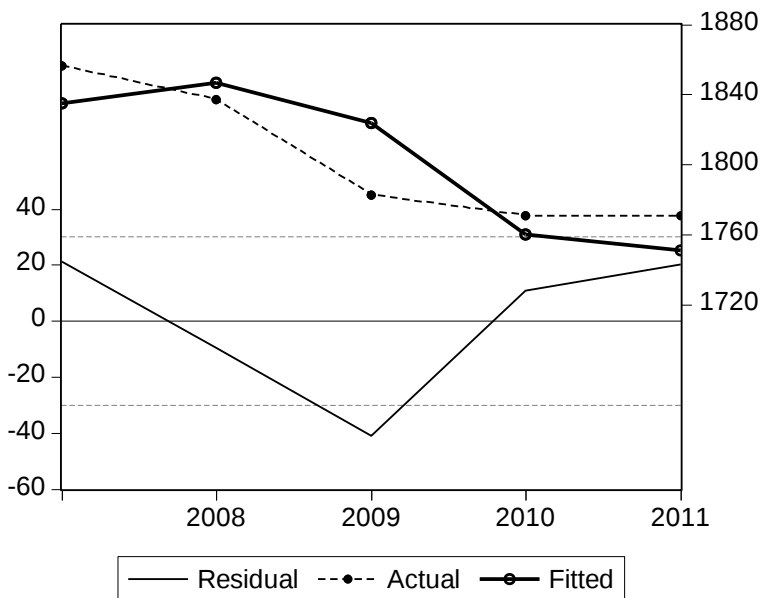


Рис. 1. График наблюдаемых (Actual), расчетных (Fitted) значений (левая шкала) и остатков (Residual) (правая шкала)

Для настройки на специфику моделируемого региона и статистические данные программно-инструментальный комплекс «Прогноз» позволяет формировать новые зависимости или задать другие значения параметров, но для этого же уравнения. На практике пользователи занимаются многократным перебором значений параметров для заложенных в систему зависимостей. Таким образом, прогнозирование производится по неадекватному уравнению. При социально-экономическом прогнозировании РБ на 2013-2015 г.г. на базе регионального

сегмента государственной автоматизированной системы «Управление», разработанной компанией «Прогноз», разработчиками прогноза выбраны значения для коэффициентов $LM1=0,5$ и $LM2=0,5$. Наблюдаемые и расчетные значения для численности занятых в экономике РБ, рассчитанные при таких значениях параметров, показаны на рисунке 2.

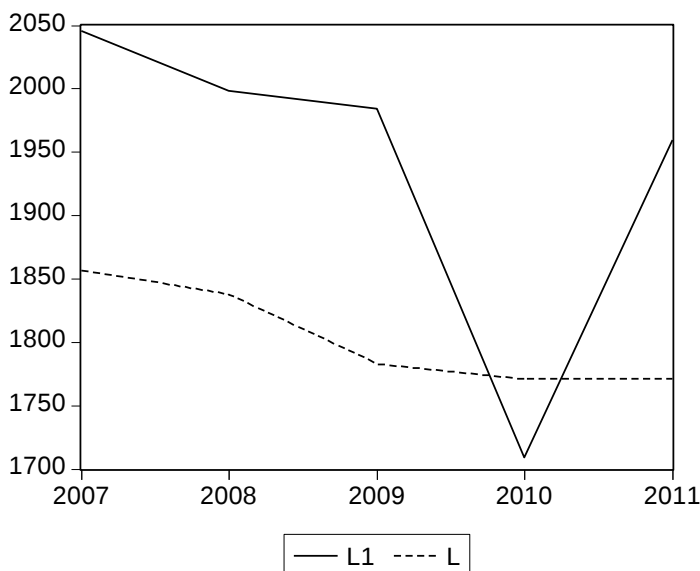


Рис.2 . График наблюдаемых (L) и расчетных (L1) значений

Из графиков видно, что в обоих случаях имеется существенное расхождение в расчетных и наблюдаемых значениях. Ошибка прогнозирования при этом составила порядка 10%.

Учитывая вышесказанное, далее будем рассматривать только те модели, в которых детально исследована экономическая деятельность отдельного субъекта РФ.

3. Имитационные модели развития региона, учитывающие его специфику

Тематика регионального моделирования сконцентрирована большей частью в научно-исследовательских институтах РАН. Исследования начаты в Сибирском отделении Академии Наук. Рассмотрим прежде наиболее известные разработки российских ученых, использующих системно-динамический подход применительно к региональному моделированию (таблица 2).

Таблица 2. Системно-динамические модели регионального развития

№	Название модели	Разработчик	Структура модели	Среда ИМ
1.	Модельный комплекс СИРЕНА-2 (Синтез региональных народно-хозяйственных решений) [9], [7]	Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН	Структура региональной подсистемы: трудовые ресурсы и население; капитальные вложения; локальные ресурсы (земельные, водные); транспорт; межрегиональные связи; социальные факторы.	Специализированные программные комплексы: КОМБИ, АССТРА, УТРО, КОПРА и др.
2.	Территориальная автоматизированная система (ТАИС) [11]	Самарская государственная экономическая академия	Экономические агенты: хозяйствующие субъекты сектора производства това-	Специализированная программа Economics

№	Название модели	Разработчик	Структура модели	Среда ИМ
			ров и рыночных услуг; хозяйствующие субъекты сектора нерыночных услуг; домашние хозяйства; региональное руководство; Федеральное руководство; внешнее окружение.	
3.	Аналитическая система «Моделирование социально-экономического развития региона» [2]	Государственный Университет управления	Подсистемы: население; производство; непроеизводственная сфера; внешняя экономическая сфера; пространство; финансы; экология.	Vensim
4.	Система прогнозирования развития региона [1]	Институт информатики и математического моделирования технологиче-	Компоненты: трудовые ресурсы; добывающая промышленность (ТЭК); перерабатывающая промышленность (рыбопромыш-	PowerSim

№	Название модели	Разработчик	Структура модели	Среда ИМ
		ских процессов КНЦ РАН	ленный комплекс).	
5.	Модель Кировской области [6]	Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН	Экономические агенты: производители; банки; домашние хозяйства; собственники; область; центральный банк; внешняя торговля.	Maple
6.	Комплексная модель обоснования среднесрочных стратегий социально-экономического развития региона [4]	Институт социально-экономических исследований УНЦ РАН	Экономические агенты: домохозяйства; совокупный производитель; финансовый сектор; государство (региональный уровень); внешний мир.	Matlab

Упомянутые в таблице региональные модели различаются между собой степенью детализации, разным экономико-математическим инструментарием, лежащим в основе имитационного моделирования (дифференциально-интегральные уравнения, нейронные сети, эконометрические уравнения и др.), обеспечением соблюдения баланса между спросом и предложением на рассматриваемых рынках, и, как следствие, разным уровнем адекватности. Следует отметить, что наблюдается

изменение структуры региональных моделей. Теперь в моделях системной динамики принято рассматривать не подсистемы экономики, а экономических агентов, которые взаимодействуют между собой на разных рынках. Количество взаимодействующих агентов определяется целью исследования.

Перейдем к рассмотрению агент-ориентированных моделей регионального развития (таблица 3). Среди них не наблюдается такого разнообразия, как среди системно-динамических моделей. В настоящее время разработки агент-ориентированных моделей большей частью сконцентрированы в Центральном экономико-математическом институте РАН. На наш взгляд, следует отметить модель[10], разработанную Сушко Е.Д. В рамках этой модели предпринята попытка качественного моделирования индивидуального поведения агентов - «физических лиц». В тоже время, считаем, что модель имеет много ограничений (например, полное отсутствие безработицы) и требует дальнейшего развития.

Таблица 3. Агент-ориентированные модели регионального развития

№	Название модели	Разработчик	Структура модели	среда ИМ
1.	Модель региона Российского Севера [3]	Сыктывкарский государственный университет	Уровни: экономические агенты; район; регион. Агенты: человек; предприятие; банк; собственник; район; государство.	Vensim
2.	Агент-ориентированная региональная модель	Центральный экономико-математический инсти-	Агенты: физические лица; юридические лица; муниципаль-	Anylogic

	«Губернатор» [10]	тут РАН	ные районы.	
3.	Агент-ориентированная модель г. Москвы [12]	Центральный экономико-математический институт РАН	Агенты: люди; предприятия. Среда модели: районы; дороги; общественный транспорт (метро).	Anylogic

Что касается инструментальных средств для реализации имитационного моделирования, то создание моделей «первого поколения» требовало от исследователей прежде всего разработки программ, позволяющих создавать архитектуру модели и производить расчеты по ней. Более поздние модели создавались с использованием программ широкого профиля. Современные имитационные модели разрабатываются в специализированных программах, содержащих наборы готовых библиотек для системной динамики или агент-ориентированного моделирования. Поэтому процесс моделирования стал протекать легче и быстрее. В связи со значительным развитием программного обеспечения в последние годы появилась возможность интеграции агентного моделирования и системной динамики. Примером может служить программа Anylogic российской компании XJ Technologies, поддерживающая все парадигмы имитационного моделирования и предоставляющая возможность их комбинации в рамках одной модели.

В заключение хотелось бы отметить, что развитие агентного моделирования, а также программного обеспечения в области имитационного моделирования открывают перед учеными большие перспективы для повышения глубины проработки проблемы регионального моделирования. Так, ранее для республики Башкортостан ранее была создана имитационная модель комплексного развития региона [4], реализованная в среде Matlab. В настоящее время в Институте социально-

экономических исследований УНЦ РАН ведутся разработки более детальной модели регионального развития в среде Anylogic на основе системной динамики с описанием выявленных зависимостей на основе эконометрических моделей. Кроме того, разрабатывается модель социально-экономического развития региона средствами Anylogic на основе интеграции системной динамики и агентного моделирования.

Литература

1. ГОРОХОВ А.В., ПУТИЛОВ В.А. ШЕСТАКОВ А.А. *Системная динамика в управлении региональным развитием (на примере Мурманской области)* // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. 6-й Международной конференции, 2004. – Самара: СНЦ РАН. – 2004. – С. 370-375.
2. ЛЫЧКИНА Н.Н. *Компьютерное моделирование социально-экономического развития регионов в системах поддержки принятия решений* // Материалы III Международной конференции “Идентификация систем и задачи управления” SICPRO’04 - М.: ИПУ РАН, – 2004. – 25 с.
3. МИРОНОВ В. В., СМИРНОВ А. В. *К проблеме математического моделирования имитационных моделей социально-экономического развития региона* // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. – 2012. – № 3. URL: <http://koet.syktu.ru/vestnik/2012/2012-3/8/8.html> (дата обращения 22.04.2013).
4. НИЗАМУТДИНОВ М.М., ЯМИЛОВА Л.С. *К вопросу о подходах к построению модели экономики регионов* // Проблемный анализ и государственно-управленческое проектирование. – 2010. – Т.3, №4. – С. 52-63.
5. *Система анализа и моделирования динамики бюджета региона «Губернатор»*© / ООО «Франклин&Грант. Риск Консалтинг», 2002-2012. URL: <http://www.franklin->

grant.ru/ru/services/gov-gubernator.asp (дата обращения: 22.04.2013).

6. ОСИПОВА О.Н., ШАТРОВ А.В. *Эволюционная модель региональной экономики* // Математика. Компьютер. Образование: Сб. трудов XIV международной конференции. – 2008. URL: <http://www.mce.su/rus/archive/mce14/sect1032/doc12236/> (дата обращения 22.04.2013).

7. Проект СИРЕНА: методология и инструментарий / А.Г. Гранберг, В.Е. Селиверстов, С.А. Суспицын и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. – 1991. – 256 с.

8. *Разработка прогноза социально-экономического развития регионов с использованием комплексной имитационной модели*/ ©Прогноз, 2005-2013. URL: http://prognoz.ru/ru/publication_05.php (дата обращения: 22.04.2013).

9. СУСПИЦЫН С.А. *Взаимодействие институциональных моделей региона в информационном пространстве* // Труды ИСА РАН. – 2008. – Т. 39. – С. 435-456.

10. СУШКО Е.Д. *Мультиагентная модель региона: концепция, конструкция и реализация* / Препринт # WP/ 2012/292 – М.: ЦЭМИ РАН. – 2012. – 54 с.

11. ЦЫБАТОВ В.А., ДУБРОВИН Д.В. *Методы, модели и системы прогнозирования регионального развития*: Под ред. Г.Р. Хасаева. – Самара: Изд-во Самар. Гос. Экон. Акад. – 2003. – 248 с.

12. ФАТТАХОВ М. Р. *Агент-ориентированная модель социально-экономического развития мегаполисов (на примере г. Москвы)*: Автореф. дис. канд. эконом. наук. – М., 2011. – 30 с.

SIMULATION MODELS OF INTEGRATED REGIONAL DEVELOPMENT

Elena Gafarova, Institute of social and economic researches USC RAS, Ufa, Russia, PhD in Economics, staff scientist of economic-mathematical modeling sector (gafarovaea@mail.ru).

Abstract: This article provides an overview of domestic simulation models of regional development based on system dynamics and agent-based approach. It is shown that the universal models that do not take into account the specific development of the region and are not verified by the regional statistical data have a low accuracy of forecasting. The article describes the most famous Russian models of socio-economic development of the regions and their comparative analysis.

Keywords: simulation of regional development, forecasting of socio-economic development of the region, system dynamics, agent-based modeling.