

УДК 330.46
ББК 65.9

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОГО РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ¹

Гафарова Е. А.²

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

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

Одним из наиболее эффективных экономико-математических подходов к исследованию и прогнозированию регионального развития является имитационное моделирование, позволяющее сформировать и исследовать многовариантные сценарии развития моделируемой системы, оценить социально-

¹ Работа выполнена при поддержке РГНФ (проект №13-02-00039 «Технология моделирования комплексного развития региона на основе имитационного подхода»).

² Елена Аркадьевна Гафарова, кандидат экономических наук (gafarovaea@mail.ru).

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:

$$L[t] = L[t-1] \cdot \left(LM_1[t] \cdot T_VR[t] + LM_2[t] \cdot \frac{TR[t]}{TR[t-1]} \cdot 100 \right) / 100,$$

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; $LM_1[t]$, $LM_2[t]$ — 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 LM_1 и LM_2 , значения t -статистик о проверке значимости каждого коэффициента модели, коэффициент детерминации (величина R^2), характеризующий качество подгонки, и др.

Таблица 1. Результаты оценивания регрессионного уравнения в программе Eviews на интервале 2007-2011 гг.

Зависимая переменная: L				
Метод: наименьших квадратов				
Выборка: 2007–2011				
$L = L(-1) \cdot (LM_1 \cdot T \cdot VR + LM_2 \cdot TR \cdot I \cdot 100)/100$				
	Коэффициент	Стандартная ошибка	t -статистика	p -уровень
LM_1	-0,027	0,075	-0,357	0,745
LM_2	1,022	0,085	11,982	0,001
R^2	0,576	Среднее зависимой переменной		1803,340
Скорректированный R^2	0,435	Стандартное отклонение зависимой переменной		40,230
Стандартная ошибка регрессии	30,232	Критерий Акаике		9,945
Сумма квадратов остатков	2741,985	Критерий Шварца		9,789
Логарифм функции правдоподобия	-22,862	Статистика Дарбина-Уотсона		1,715

Как видно из таблицы, построенное регрессионное уравнение не является адекватным, поскольку наблюдается низкое качество подгонки расчетных и наблюдаемых значений ($R^2 = 0,576$), а коэффициент LM_1 не является статистически значимым ($t = -0,357$). Для наглядности наблюдаемые и расчетные значения для численности занятых в экономике РБ, а также остатки модели представлены на рис. 1.

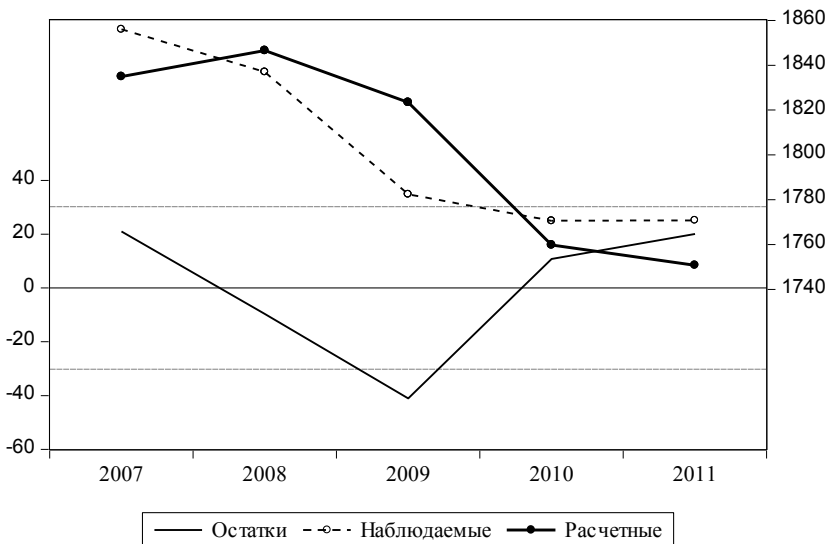


Рис. 1. График наблюдаемых, расчетных значений (левая шкала) и остатков (правая шкала)

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 гг. на базе регионального сегмента государственной автоматизированной системы «Управление», разработанной компанией «Прогноз», разработчиками прогноза выбраны значения для коэффициентов $LM_1 = 0,5$ и $LM_2 = 0,5$. Наблюдаемые и расчетные значения для численности занятых в экономике РБ, рассчитанные при таких значениях параметров, показаны на рис. 2.

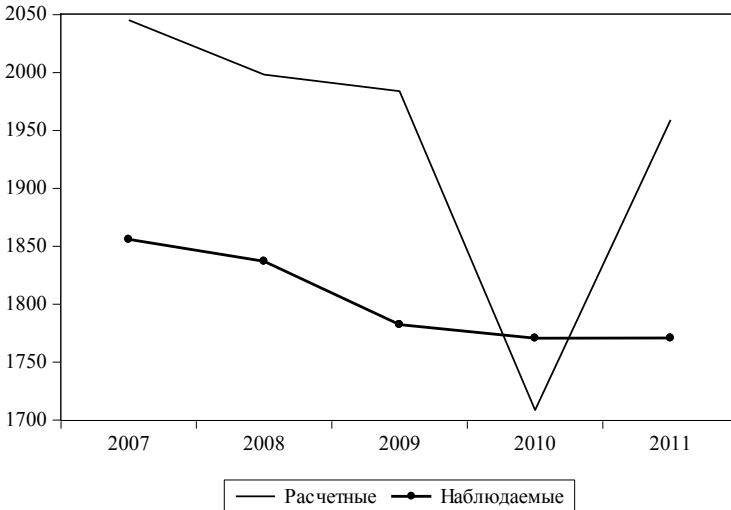


Рис. 2. График наблюдаемых (L) и расчетных (L_1) значений.

Из графиков видно, что в обоих случаях имеется существенное расхождение в расчетных и наблюдаемых значениях. Ошибка прогнозирования при этом составила порядка 10%. Безусловно, низкому качеству эконометрического уравнения и прогноза могло способствовать изменение динамики региональных показателей в кризисные годы. Однако неудовлетворительные результаты моделирования выбранного показателя на основе данного уравнения получаются и на интервалах наиболее стабильного экономического развития. В таблице 2 представлены результаты эконометрического моделирования на данных 2000–2007 гг., которые также свидетельствуют о низком качестве подгонки, незначимости коэффициента при валовом региональном продукте и, как следствие, о неадекватности рассматриваемого уравнения.

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

Таблица 2. Результаты оценивания регрессионного уравнения в программе Eviews на интервале 2000-2007 гг.

Зависимая переменная: L				
Метод: наименьших квадратов				
Выборка: 2000–2007				
$L = L(-1) \cdot (LM_1 \cdot T \cdot VR + LM_2 \cdot TR \cdot I \cdot 100)/100$				
	Коэффициент	Стандартная ошибка	t -статистика	p -уровень
LM_1	0,053	5,444	0,010	0,993
LM_2	0,998	0,063	15,723	0,000
R^2	0,587	Среднее зависимой переменной		1792,923
Скорректированный R^2	0,518	Стандартное отклонение зависимой переменной		40,377
Стандартная ошибка регрессии	28,035	Критерий Акаике		9,717
Сумма квадратов остатков	4715,925	Критерий Шварца		9,737
Логарифм функции правдоподобия	-36,869	Статистика Дарбина-Уотсона		2,454

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 3).

Таблица 3. Системно-динамические модели регионального развития

№	Название модели	Разработчик	Структура модели	Среда ИМ
1.	Модельный комплекс СИРЕНА-2 (Синтез региональных народно-хозяйственных решений) [7, 9],	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
2.	Территориальная автоматизированная система (ТАИС) [11]	Самарская государственная экономическая академия	Экономические агенты: хозяйствующие субъекты сектора производства товаров и рыночных услуг; хозяйствующие субъекты сектора нерыночных услуг; домашние хозяйства; региональное руководство; Федеральное руководство; внешнее окружение.	Специализированная программа Economics
3.	Аналитическая система «Моделирование социально-экономического развития региона» [2]	Государственный университет управления	Подсистемы: население; производство; непроемкая сфера; внешняя экономическая сфера; пространство; финансы; экология.	Vensim

№	Название модели	Разработчик	Структура модели	Среда ИМ
4.	Система прогнозирования развития региона [1]	Институт информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН	Компоненты: трудовые ресурсы; добывающая промышленность (ТЭК); перерабатывающая промышленность (рыбопромышленный комплекс).	PowerSim
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

Все модели, по утверждениям их разработчиков, позволяют строить долгосрочные и краткосрочные прогнозы основных социально-экономических и финансовых показателей региона, формировать и исследовать различные стратегии регионального развития. Исключение составляет модельный комплекс СИРЕНА-2, который является многорегиональным и поэтому позволяет проводить межрегиональные сравнения, выявлять тенденции развития нескольких регионов и др.

Что касается степени детализации, считаем, что все модели являются слишком агрегированными. Лишь в моделях №2–№4 (таблица 3) имеет место детализация по некоторым секторам или сферам экономики, что позволяет использовать их для анализа диспропорций регионального развития. Кроме того, следует отметить социальную направленность модели №3, в которой рассматривается развитие здравоохранения, образования и жилого фонда. В этой модели присутствует также детализация ресурсного потенциала региона по видам природных ресурсов. Следующим важным моментом является моделирование теневого сектора и его влияния на развитие экономики региона. В этом случае выгодно отличается модель №5, в которой исследуется теневой выпуск и теневая заработная плата. Существенным недостатком всех рассмотренных моделей является игнорирование моделирования инноваций.

Упомянутые в таблице региональные модели различаются между собой также 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. Однако разработчики, ориентируясь на широкий круг читателей, весь модельный инструментарий, как правило, не раскрывают. Так, в работе [2] нет информации о внутреннем устройстве модели №3. Поэтому сравнение моделей по этим параметрам не представляется возможным.

Ключевым моментом регионального имитационного моделирования является проведение направленных вычислительных экспериментов с целью получения информации о системе. Так,

с помощью модели №1 получены прогнозы наборов региональных индикаторов (ВРП, промышленное производство, заработная плата и др.) субъектов Сибирского федерального округа в зависимости от реализации инвестиционных проектов. Для модели №2 приводится подробное описание экспериментов, направленных на решение таких задач, как удвоение ВРП Самарской области, увеличение численности трудоспособного населения, уменьшения уровня бедности. Разработчики модели №4 представили прогнозную динамику трудовых ресурсов Мурманской области при отмене северных льгот, а также прогноз развития топливно-энергетического комплекса в зависимости от инвестиций и федерального налога на электроэнергию. На основе модели №5 проведены сценарии развития Кировской области, в которых исследовался рост ВРП и легальной наличности в зависимости от множества управляющих параметров, таких как санкции налоговой инспекции, норма выдачи кредитов, инфляция и др. Для остальных моделей описание проведенных экспериментов отсутствует.

Перейдем к рассмотрению агент-ориентированных моделей регионального развития (таблица 4). 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.

Для первой модели (таблица 4) в работе [3] приводятся лишь концептуальные схемы взаимодействия ее агентов. Более детальные алгоритмы поведения агентов, результаты верификации и численных экспериментов для субъекта РФ авторами не представлены. Модель №3 имеет, на наш взгляд, узкую направленность. Хотя модель и предполагает расчет основных социально-экономических показателей развития г. Москвы (численность населения, ВРП, уровень безработицы, среднедушевые доходы), тем не менее, ориентирована на анализ уровня загруженности дорог и решения проблемы пробок. В силу этого, в стейтчарте, описывающем поведение агента-человека, рассматриваются такие действия, как смена работы, смена места жительства, покупка или продажа автомобиля.

Таблица 4. 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 «Губернатор» [10]	Центральный экономико-математический институт РАН	Агенты: физические лица; юридические лица; муниципальные районы.	Anylogic
3.	Агент-ориентированная модель г. Москвы [12]	Центральный экономико-математический институт РАН	Агенты: люди; предприятия. Среда модели: районы; дороги; общественный транспорт (метро).	Anylogic

И наконец, модель №2 разработана для апробации механизмов регионального управления с учетом человеческого фактора. В рамках этой модели предпринята попытка качественного моделирования индивидуального поведения агентов - «физических лиц»: рождение, поступление на учебу, устройство на работу, смена вида деятельности, смена места жительства, изменение отношения к труду, смерть. Модель прошла калибровку на данных о состоянии Вологодской области. С использованием модели проведены эксперименты по изменению динамики населения области, ее муниципальных районов и предприятий при разных значениях управляющих параметров. В

тоже время, считаем, что модель имеет некоторые ограничения (например, предполагает полное отсутствие безработицы) и требует дальнейшего развития.

Заканчивая обзор имитационных моделей, отметим, что создание моделей «первого поколения» требовало от исследователей прежде всего разработки программ, позволяющих создавать архитектуру модели и производить расчеты по ней. Так, для организации работы комплекса СИРЕНА-2 (таблица 3) были разработаны специализированные программы (КОМБИ для выполнения операций над матрицами, АССТРА для генерации и анализа прогнозных задач, УТРО для обработки и вывода данных в диалоговом режиме и др.). Более поздние модели создавались с использованием программ широкого профиля (Maple, Matlab и др.). 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.

Таким образом, 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 модели регионального развития в среде Anylogic на основе системной динамики с детализацией ВРП по видам экономической деятельности и 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, 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., СМЕРНОВ 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. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://koet.syktsu.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. [Электронный ресурс]. – 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. – [Электронный ресурс]. – 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. [Электронный ресурс]. – 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. *Моделирование экономического роста* / Под ред. Г.Р. Хасаева. – Самара: Изд-во Самар. гос. экон. ун-та. – 2006. – 385 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 research, 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 low forecasting accuracy. The article describes the most famous Russian models of socio-economic regional development and provides comparative analysis of these models.

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

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Р.М. Нижегородцевым*

*Поступила в редакцию 22.04.2013.
Опубликована 30.09.2013.*