
**ИМИТАЦИОННОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЙ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ АГЕНТОВ В РАМКАХ ПОСТРОЕНИЯ
ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА***

© 2014 г. Р.В. Фаттахов, М.М. Низамутдинов

(Москва, Уфа)

В статье рассматривается подход к построению модели экономики региона, основанный на интегрировании триады поведенческих, балансово-динамических и управленческих моделей. Приводится математически формализованное описание стратегий поведения экономических агентов в процессе их взаимодействия на микро- и макроуровнях, а также схема реализации управляющего алгоритма модели. Рассмотрены результаты практической апробации модели на региональном уровне.

Ключевые слова: регион, стратегия развития, экономические агенты, модели поведения, системная динамика, региональное управление, имитационное моделирование.

Классификация JEL: R150.

За последние годы в России делаются определенные попытки формирования системной государственной региональной политики, направленной на построение эффективного и гибкого механизма управления социально-экономическим развитием регионов. В методологическом плане решение данной проблемы требует использования инструментов комплексного моделирования, позволяющих уже на этапе обоснования различных экономических программ и стратегий развития количественно оценить последствия их практической реализации хотя бы в среднесрочной перспективе. В свете решения этой задачи активно ведутся исследования по разработке экономико-математических моделей и инструментария управления региональным развитием, позволяющих решать проблему управляемого стратегического развития (Атаева, Исламова, Мустафин, Орешников, 2011; Орешников, Шагапова, 2009).

Следует заметить, что методологические подходы к моделированию макро- и мезоэкономических систем в целом не претерпели существенных изменений. Большинство конструируемых сегодня подходов во многом наследуют основные свойства известных классических макромоделей, например, таких как модели системной динамики, модели общеэкономического равновесия, модели межотраслевого баланса и т.п. Стоит отметить, что за последние годы большее развитие среди прочих получили модели имитационного типа и модели, ориентированные на использование технологий искусственного интеллекта, а также мультиагентные (агент-ориентированные) модели (Макаров, Бахтизин, 2013; Фаттахов, Низамутдинов, 2013). Основное конкурентное преимущество данного класса моделей – их изначальная ориентированность на моделирование в высокопроизводительной вычислительной среде, где в рамках компьютерных имитаций сложность построения однозначных аналитических зависимостей компенсируется возможностью нахождения приемлемых решений за счет перебора (прогона) значительного числа вариантов в реальном режиме времени.

Другим активно развивающимся аспектом моделирования является применение различных поведенческих алгоритмов, игровых моделей, подходов теории ограниченной рациональности и т.д. (Макаров, Бахтизин, Бахтина, 2009). Повышение интереса исследователей к таким моделям также логически объяснимо, более того, потребность в их активном применении назрела объективно. С одной стороны, это обусловлено фактом существенного отрыва большинства

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 13-06-00120).

теоретических моделей от реального объекта исследования, каким является сложная социально-экономическая система, в центре которого находится человек и принимаемые им решения. Практика показывает, что попытка строгой математической формализации таких “живых” систем, излишняя абстрактность и механистичность подходов уже не совсем себя оправдывает, в том числе с точки зрения качества модельных расчетов. С другой стороны, объективной предпосылкой возрождения подходов к моделированию на основе поведенческих, интеллектуальных и игровых алгоритмов также являются практически неограниченные мощности современной вычислительной техники, что позволяет существенно сблизить уровень сложности объекта моделирования с масштабом и сложностью производимых вычислений.

Следует отметить, что, несмотря на достаточно широкий спектр исследований, большинство отечественных разработок еще не до конца адаптированы к современным рыночным условиям хозяйствования. Прежде всего нуждаются в существенном усилении финансовые аспекты моделирования регионального развития (Исмагилова, Климова, 2013). Многие разработки продолжают моделировать инерционные механизмы развития и зачастую не ориентированы на решение актуальных задач регионального развития, в первую очередь обеспечение устойчивого экономического роста за счет перехода на инновационно-ориентированную модель развития (Валентей, Бахтизин и др., 2013; Печаткин, 2013). В рамках этой проблематики модельный инструментарий также нуждается в развитии, в том числе за счет более широкого применения методов имитационного моделирования, их ориентации на использование в реальной практике принятия управленческих решений, оценки различных сценариев развития и обеспечении выработки у конкретных механизмов их достижения.

1. КОНЦЕПЦИЯ, ПРИНЦИПЫ И ЛОГИКА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ

В рамках рассмотренных подходов предлагаемая нами концепция моделирования, с одной стороны, является попыткой синтеза преимуществ активно развивающихся сегодня имитационных и поведенческих моделей, с другой – сохранение наработанных и доказавших на практике свою эффективность свойств классических балансовых и динамических моделей. При разработке любой модели на первом этапе следует определиться с основными принципами реализации предлагаемой концепции моделирования, которые были сформированы нами на основе систематизации достоинств и недостатков аналогичных моделей. В привязке к этим принципам можно формировать желаемые свойства модели и конкретные механизмы реализации.

В основу разработки предлагаемой концепции в качестве основных таких свойств имитационной модели были определены следующие:

- *иерархичность представления*, которая определяется нами как возможность учета в рамках модели взаимного влияния поведения агентов на микроуровне на параметры макросистемы в целом. Данное свойство реализовано в виде двухуровневой вертикально-интегрированной схемы построения имитационной модели;

- *адаптивность/управляемость*, определяемая нами как обязательное наличие механизмов (регуляторов), обеспечивающих достижение целей развития макросистемы через воздействие на микросистему на основе адаптивных алгоритмов согласования интересов экономических агентов. Данное свойство реализовано за счет интеграции в модель блока индикативного планирования и алгоритма итеративного поиска решений с механизмом обратной связи “цель – результат”;

- *динамичность*, характеризующая возможность имитации поведения и логики принятия решений экономическими агентами в непрерывном режиме. Данное свойство реализовано за счет интегрирования динамической модели потоков и запасов;

- *сбалансированность*, определяющая требование целостного представления экономики региона и возможность моделирования с учетом необходимости сохранения основных воспроизводственных пропорций в каждый модельный момент времени. Данное свойство обеспечивается за счет интегрирования в модель алгоритма балансировки на базе методологии СНС (SAM);



Рис. 1. Структурно-логическая композиция подсистем в структуре имитационной модели

– *вариативность* – способность модели вырабатывать альтернативные стратегии при возможных изменениях условий среды. Выполнение данного требования может быть обеспечено за счет интеграции модуля сценарного анализа;

– *практическая применимость* – наличие и достаточность официальной статистической базы для выхода на практические результаты расчетов. Предлагается реализовать данное свойство за счет сквозной интеграции входных, выходных, управляемых, сценарных и иных параметров модели, которые при этом имеют в модели привязку к официально учитываемым или иным образом фиксируемым статистическим показателям.

В рамках сформулированных выше принципов концепция моделирования может быть представлена как иерархически структурированная и логически связанная композиция моделей трех типов – моделей поведения экономических агентов, системы динамических балансовых моделей и модели управления (Низамутдинов, 2009) (рис. 1).

Структурным ядром выступает множество *моделей поведения* экономических субъектов (агентов), представляющее в рамках общей структуры имитационной модели ее интеллектуальную составляющую. В качестве элементов этой подсистемы предлагается формализовать поведение агрегированных экономических субъектов, таких как “Совокупный производитель”, “Домохозяйства”, “Государство (региональное правительство)”, “Финансовый сектор”, “Внешний мир” и т.д. Общая логика моделирования поведения экономических агентов – это некоторый формализованный механизм трансформации имеющихся у агента экономических (в первую очередь финансовых) ресурсов R в конечный результат его деятельности Y через реализацию определенной экономической стратегии S . Другими словами, стратегия формирует итеративную процедуру преобразования доходов экономического агента в его целевые расходы, обеспечивающую поэтапное достижение цели данной стратегии. В качестве конечной цели реализации стратегии (т.е. условием остановки итеративного алгоритма поиска) выступает, как правило, либо достижение некоторого состояния краткосрочного рыночного равновесия (например, спроса и предложения на конечный продукт), либо достижение заданной величины экономического результата или значения некоторого планового индикатора.

При этом логика построения поведенческих моделей предполагает, что каждый экономический агент при реализации собственной стратегии, во-первых, через систему горизонтальных взаимосвязей учитывает стратегию, реализуемую другими экономическими агентами, во-вторых, через систему вертикальных связей также учитывает условия и ограничения, задаваемые ему моделями более высокого уровня иерархии. Таким образом, в рамках рассматриваемой концепции экономические агенты адаптируются к текущим стратегиям друг друга в рамках каждого модельного момента времени, при этом реализуя собственную локальную цель, и через систему регуляторов более высокого уровня одновременно формируют механизмы достижения глобаль-

ной цели развития всей макроэкономической системы – обеспечивают заданную динамику экономического роста.

Промежуточным звеном в иерархической структуре моделей является система *динамических балансов*, реализуемая на принципах методологии национального счетоводства и его расширенной модификации на базе интегрированных матриц финансовых потоков SAM. Наличие балансовых тождеств обеспечивает сохранение основных пропорций производства и распределения конечного продукта при согласовании финансовых потоков между моделями микро- и макроуровня, а также служит балансирующим звеном на всех других этапах моделирования. В соответствии с данной логикой подмножество моделей динамических балансов представляет собой некоторую систему математических уравнений, отражающих в статическом разрезе баланс доходов In и расходов Exp экономических агентов для каждого шага моделирования в рамках итерационного алгоритма, в динамическом разрезе – баланс темпа входных–выходных финансовых потоков Fl и накопленной экономическими агентами величины запасов St .

Верхний уровень иерархии представлен *моделью управления*, олицетворяющей макроуровень экономики и реализующей в рамках имитационной модели функции планирования и регулирования деятельности всей макроэкономической системы. По сути данный уровень реализует часть функций экономического агента “Государство”, которые будут рассмотрены ниже.

В целом предлагаемая структура взаимоувязки моделей, на наш взгляд, обеспечивает, с одной стороны, целостное отображение логики экономических процессов на региональном уровне, с другой стороны, именно такая многоуровневая структура модели позволяет решить главную задачу моделирования – учет взаимовлияния поведения отдельных экономических субъектов на микроуровне и параметры функционирования социально-экономической системы на макроуровне.

2. ФОРМАЛИЗОВАННЫЕ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ АГЕНТОВ

В рамках данного раздела приведем содержательное формализованное описание стратегий поведения каждого экономического агента, а также раскрытие базовых экономических механизмов реализации данных стратегий.

В предлагаемой модели основным мотивом поведения самостоятельного рационально действующего экономического агента “Совокупный производитель” является поиск рыночного объема предложения конечного продукта, обеспечивающий максимизацию прибыли агента и минимизацию возможных потерь от перепроизводства товаров и услуг. Базовая цель реализации интеграционного алгоритма – поиск условий макроэкономического равновесия величины совокупного спроса и предложения с учетом стратегий производителя по объему выпуска и параметров индикативного плана по величине прироста валового регионального продукта (ВРП). Модель функционирования агента описана в рамках предложенной стратегии поведения экономических агентов по схеме “Ресурсы” – “Доходы” – “Расходы” – “Результат-стратегия”.

В качестве *ресурсов* “Совокупного производителя” выступают факторы производства: рабочая сила (число занятых) и основные производственные фонды, необходимые для производства конечного продукта. Для моделирования производственного потенциала агента может быть использована производственная функция, например классическая функция Кобба–Дугласа, устанавливающая связь между объемом валового выпуска Y и основными факторами производства:

$$Y(t) = a_1 K^{a_2}(t) def_Y(t),$$

где a_1 – константа, a_2 – коэффициент при основных фондах, a_3 – коэффициент при труде, $Y(t)$ – валовой выпуск в году t , $K(t)$ – стоимость основных производственных фондов в году t , $L(t)$ – численность занятых в году t , $def_Y(t)$ – индекс-дефлятор валового выпуска.

Численность занятых $L(t)$ в текущем году t определяется при моделировании поведения экономического агента “Домохозяйства” и является входным ресурсным потоком для рассматриваемой модели.

Стоимость основных производственных фондов $K(t)$ в году t находится из уравнения движения основного капитала:

$$\frac{dK(t)}{dt} = Ig(t) - A(t),$$

где $Ig(t)$ – поток совокупных инвестиций в текущем году, $A(t)$ – амортизация основных фондов в текущем году, которые формируются как результат стратегии поведения агента и логики принятия им решения, исходя из своего индикативного плана, а также сценарных условий, определяющих влияние макросреды и других агентов. В начальный момент времени t_0 стоимость основных фондов $K(t_0)$ задана.

Объем промежуточного потребления $IC(t)$ в текущем году рассчитывается пропорционально валовому выпуску с учетом корректировки на динамику цен на товарно-сырьевых рынках согласно уравнению:

$$IC(t) = k_{IC} def_{mc}(t) Y(t),$$

где k_{IC} – сложившаяся доля промежуточного потребления в валовом выпуске; $def_{mc}(t)$ – индекс-дефлятор цен на товарно-сырьевых рынках, позволяющий произвести пересчет доли промежуточного потребления в валовом выпуске и являющийся сценарным параметром модели.

Добавленная стоимость $GVA(t)$ для года t вычисляется из соотношения

$$GVA(t) = (Y(t) - IC(t)) def_{pp}(t),$$

где коэффициент $def_{pp}(t)$ – это индекс потребительских цен в году t , который является сценарным параметром модели агента “Домохозяйства”.

Для расчета объема производства валового регионального продукта $GDP(t)$ в текущем году t используется уравнение

$$GDP(t) = GVA(t) + TN(t),$$

где $TN(t)$ – чистые налоги на продукты, объем которых рассчитывается пропорционально его доле в добавленной стоимости по формуле

$$TN(t) = k_{TN} GVA(t),$$

где k_{TN} – доля чистых налогов на продукты в добавленной стоимости. Здесь коэффициент k_{TN} выступает в качестве константы модели и определяет долю чистых налогов на продукты в добавленной стоимости.

Доходы агента “Совокупный производитель” в текущем году формируются из произведенного ВРП, финансовых вложений прошлых лет, привлеченных кредитов и субсидий согласно уравнению

$$In_1(t) = GDP(t) + Dep_1(t) + Cr_1(t),$$

где $In_1(t)$ – доходы агента “Совокупный производитель”, $Dep_1(t)$ – доходы агента от финансовых вложений прошлых лет, $Cr_1(t)$ – кредиты, привлеченные агентом в текущем году t .

Доходы от финансовых вложений $Dep_1(t)$ и привлеченные агентом кредиты $Cr_1(t)$ рассчитываются при моделировании поведения агента “Финансовый сектор” и являются входными координатами для модели агента “Совокупный производитель”.

Здесь же в зависимости от объема чистой прибыли $PN_1(t-1)$, полученной агентом в предыдущем году, определяется спрос на кредиты $Cr_1^{AD}(t)$ в текущем году t по правилу

$$Cr_1^{AD}(t) = \begin{cases} \max(k_{ac} GVA(t), |PN_1(t-1)|), & \text{если } PN_1(t-1) < 0, \\ k_{ac} GVA(t), & \text{если } PN_1(t-1) > 0. \end{cases}$$

Здесь коэффициент k_{ac} характеризует сложившуюся долю автономных кредитов агента “Совокупный производитель” в момент времени t и формируется в зависимости от изменения

во времени величины банковской процентной ставки по кредитам $r_{cr}(t)$:

$$k_{ac}(t) = \begin{cases} k_{ac}(t-1) \frac{r_{cr}(t-1)}{r_{cr}(1)}, & \text{если } r_{cr}(t-1) < r_{cr}(t); \\ k_{ac}(t-1) \frac{r_{cr}(t)}{r_{cr}(t-1)}, & \text{если } r_{cr}(t-1) > r_{cr}(t). \end{cases}$$

В начальный момент времени t_0 величина коэффициента $k_{ac}(t)$ задана. Величина банковской процентной ставки по кредитам $r_{cr}(t)$ в момент времени t вычисляется в модели агента “Финансовый сектор” и является входным параметром рассматриваемой модели.

Спрос на кредиты $Cr_1^{AD}(t_0)$ для начального периода t_0 рассчитывается пропорционально добавленной стоимости:

$$Cr_1^{AD}(t_0) = k_{ac} GVA(t_0).$$

Процесс формирования *расходов* агента заключается в распределении валовой добавленной стоимости, предполагающей вычленение трех потоков: фонда оплаты труда наемных работников $Pl(t)$, занятых в процессе производства; косвенных налогов $TI(t)$, амортизационных отчислений $A(t)$.

Расходы на фонд оплаты труда $Pl(t)$ в году t рассчитываются пропорционально сложившейся ее доле в добавленной стоимости с учетом корректировки на индекс-дефлятор заработной платы в текущем году:

$$Pl(t) = k_{pl} GVA(t) def_w(t),$$

где константа k_{pl} характеризует сложившуюся долю фонда оплаты труда в валовой добавленной стоимости; $def_w(t)$ – индекс-дефлятор заработной платы в текущем году, который зависит, в свою очередь, от цен на продукцию агента.

Поток фонда оплаты труда делится еще на два потока: поток заработной платы $W(t)$, направляемый в виде входной координаты в модель поведения агента “Домашние хозяйства”, и поток налоговых выплат в виде единого социального налога $TS(t)$, направляемый в модель агента “Государство (региональное правительство)”. Заработная плата $W(t)$ в момент времени t рассчитывается по формуле

$$W(t) = \frac{Pl(t)}{(1 + c_{TS}(t))},$$

где $c_{TS}(t)$ – ставка единого социального налога в текущий момент времени, являющийся внешним сценарным регулятором агента “Государство (региональное правительство)”.

Объем единого социального налога $TS(t)$ находится из соотношения:

$$TS(t) = Pl(t) - W(t).$$

Амортизационные отчисления $A(t)$ и налоговые выплаты в виде косвенных налогов $TI(t)$ в году t определяются пропорционально их долям в добавленной стоимости:

$$A(t) = k_A GVA(t), \quad TI(t) = c_{TI}(t) GVA(t),$$

где k_A – норма амортизационных отчислений в ВДС; параметр $c_{TI}(t)$ определяет долю косвенных налогов в добавленной стоимости и выступает в качестве внешнего сценарного регулятора агента “Государство (региональное правительство)”. Поток косвенных налогов является выходной координатой модели и направляется согласно коэффициентам пропорциональности в модель агента “Государство (региональное правительство)”.

Оставшаяся часть ВРП составляет валовую прибыль $GP_1(t)$ совокупного производителя в текущем году t и находится из следующего балансового отношения:

$$GP_1(t) = GDP(t) - Pl(t) - TI(t) - A(t).$$

Налог на прибыль $TP_1(t)$ в году t определяется пропорционально его доле $c_{TP}(t)$ в валовой прибыли:

$$TP_1(t) = c_{TP}(t)GP_1(t),$$

при этом $c_{TP}(t)$ выступает в качестве сценарного параметра стратегии агента “Государство (региональное правительство)”. Налог на прибыль $TP_1(t)$ является выходным параметром модели и направляется в качестве входной координаты в модель агента “Государство (региональное правительство)”.

Чистая прибыль $PN_1(t)$ совокупного производителя в году t находится из соотношения:

$$PN_1(t) = IN_1(t) - Pl(t) - A(t) - TI(t) - TP(t).$$

Совокупным финансовым *результатом* функционирования агента “Совокупный производитель” является полученная чистая прибыль $PN_1(t)$. На следующем этапе идет распределение чистой прибыли по следующим направлениям:

- погашение кредитов RCr_1 ;
- инвестиции в основной капитал I_1 ;
- выплаты собственникам (дивиденды) Div_1 ;
- погашение убытков прошлых лет $RLos_1$.

В первоочередном порядке осуществляется выплата по кредитам агента. Объем финансовых ресурсов в году t , направленных на погашение кредитов, рассчитывается исходя из соотношения

$$RCr_1(t) = (1 + r_{cr}(t - 1))RCr_1(t - 1),$$

где $r_{cr}(t - 1)$ – процентная ставка по кредитам в предыдущем году, величина которой формируется в модели поведения агента “Финансовый сектор”.

Для начального года t_0 объем финансовых ресурсов в году, направленных на погашение кредитов, определяется по формуле

$$RCr_1(t_0) = c_{cr}(t_0)PN_1(t_0),$$

где $c_{cr}(t_0)$ – доля финансовых ресурсов в чистой прибыли, направленных на погашение кредитов в начальном году.

Объем финансовых средств, идущих на погашение кредитов $RCr_1(t)$, является выходным параметром модели и направляется в качестве входной координаты в модель поведения агента “Финансовый сектор”.

Процесс формирования инвестиций в текущем году за счет собственных ресурсов $I_1(t)$ управляемый и выполняется на основе информации о запасах $St_1(t)$ агента с учетом реального и индикативного темпов роста ВРП. Величина потребных инвестиций вычисляется по формуле

$$I_p(t) = (1 + b(t))I_1(t - 1),$$

где коэффициент $b(t)$ характеризует величину прироста объема инвестиций к предыдущему периоду и рассчитывается на основе итерационного алгоритма реализации стратегии агента “Совокупный производитель”. Далее находится объем чистых инвестиций $I_1(t)$ по формуле

$$I_1(t) = \min(I_p(t); PN_1(t) - RCr_1(t)).$$

Здесь же формируются совокупные инвестиции, объем которых в момент времени t берется из соотношения

$$Ig(t) = I_1(t) + I_3(t) + A(t),$$

где $I_3(t)$ – объем бюджетных инвестиций в году t . Параметр $I_3(t)$ является входной координатой модели и формируется при моделировании поведения агента “Государство (региональное правительство)”.

Объем выплат собственникам в году t осуществляется по формуле:

$$Div_1(t) = u_{div}(t)PN(t).$$

Здесь $u_{div}(t)$ характеризует долю дивидендов и прочих выплат в чистой прибыли в году t и определяется исходя из стратегии агента на основе итерационного алгоритма.

Объем финансовых ресурсов $RLos_1(t)$, направленных на погашение убытков прошлых лет, в году t берется исходя из сальдо финансовых ресурсов предыдущего периода $S_1(t-1)$:

$$RLos_1(t) = \begin{cases} |S_1(t-1)|, & \text{если } S_1(t-1) < 0, \\ 0, & \text{если } S_1(t-1) > 0. \end{cases}$$

Поскольку агент “Совокупный производитель” не участвует в операциях по конечному потреблению, то вся нераспределенная чистая прибыль направляется на сбережения. При этом процесс формирования фактических темпов $S_1(t)$ сбережений агента является управляемым на основе информации о текущих запасах $St_1(t)$ и описывается с помощью уравнения

$$\frac{dS_1(t)}{dt} = PN_1(t) - I_1(t) - Div_1(t) - RCr_1(t) - RLos_1(t) - St_1(t).$$

Сбережения совокупного производителя $S_1(t)$ – это выходной параметр модели, направляемый в виде потока привлеченных депозитов в модель поведения агента “Финансовый сектор”.

Объем товароматериальных запасов $St_1(t)$ в году t определяется исходя из разницы между совокупным предложением $AS(t)$ и конечным спросом $AD(t)$:

$$\begin{cases} \frac{dSt_1(t)}{dt} = AS(t) - AD(t), & \text{если } AS(t) > AD(t); \\ \frac{dSt_1}{dt} = 0, & \text{если } AS(t) < AD(t). \end{cases}$$

Совокупное предложение $AS(t)$ в текущем году t формируется за счет произведенного в рассматриваемом году валового регионального продукта $GDP(t)$ и запасов предыдущего периода $St_1(t-1)$:

$$AS(t) = GDP(t) + St_1(t-1).$$

Объем совокупного спроса $AD(t)$ рассчитывается как сумма расходов рассматриваемых агентов согласно формуле:

$$AD(t) = Ig(t) + C_2(t) + Ot_2(t) + C_3^{br}(t) + C_3^{bf}(t) + Out_3^{obf}(t) + \Delta Ex(t),$$

где $C_2(t)$ – потребление домохозяйств, $Ot_2(t)$ – прочие расходы домохозяйств, $C_3^{br}(t)$ – потребление регионального бюджета, $C_3^{bf}(t)$ – потребление федерального бюджета, $Out_3^{obf}(t)$ – расходы внебюджетных фондов. При этом эти потоки являются входными параметрами модели, значения которых формируются при моделировании поведения соответствующих агентов.

Таким образом, предложенный итерационный алгоритм моделирует логику поведения производителей, который реализуется через механизм стремления к равенству рыночного спроса предложения на конечный продукт посредством регулирования экономическим агентом величины собственных инвестиционных расходов (Фаттахов, Нещадин, 2013).

Экономический агент “Домохозяйства” представляет в рамках модели основного потребителя произведенного конечного продукта, стратегией поведения агента служит максимизация объема потребления с учетом баланса его расходных потребностей и имеющегося доходного потенциала. Цель реализации итерационного алгоритма для экономического агента “Домохозяйства” – поиск рыночного объема потребления, величины доходов и расходов, обеспечивающих неотрицательный объем накопленных сбережений.

Аналитическая модель функционирования агента “Домохозяйства” описана в рамках предложенной стратегии поведения экономических агентов по схеме “Ресурсы” – “Доходы” – “Расходы” – “Результат-стратегия”.

В качестве *ресурсной* составляющей модели агента выступает численность занятых в экономике $L(t)$, величина которой в текущем году t определяется пропорционально численности населения согласно соотношению:

$$L(t) = k_1 \bar{L}(t),$$

где $\bar{L}(t)$ – численность населения в текущем году t ; k_1 – коэффициент занятости, который задается в виде константы модели.

Движение численности населения $\bar{L}(t)$ в текущий момент времени t описывается с помощью уравнения:

$$\frac{d\bar{L}(t)}{dt} = (k_b - k_m)\bar{L}(t-1),$$

где $\bar{L}(t-1)$ – численность населения в предыдущем году; k_b – коэффициент рождаемости, k_m – коэффициент смертности, выступающие в качестве констант модели. Численность населения $\bar{L}(t_0)$ в начальный момент времени t_0 считается известным.

Численность занятых в экономике $L(t)$ является выходной координатой модели и направляется в качестве ресурсного потока в модель поведения агента “Совокупный производитель”.

Доходы агента “Домохозяйства” в текущем году моделируются как сумма оплаты труда, доходов от собственности, социальных трансфертов, доходов от финансовых вложений и сбережений в наличности прошлых лет, привлеченных кредитов согласно следующей общей формуле:

$$In_2(t) = W(t) + Div_1(t) + Div_4(t) + Tr_3(t) + Cr_2(t) + Dep_2(t) + S_2^{ca}(t-1),$$

где $In_2(t)$ – совокупные доходы агента “Домохозяйства”; $W(t)$ – оплата труда; $Div_1(t)$, $Div_4(t)$ – выплаты дивидендов собственникам “Совокупного производителя” и “Финансового сектора” соответственно; $Tr_3(t)$ – социальные трансферты из регионального и федерального бюджетов; $Dep_2(t)$ – доходы от финансовых вложений прошлых лет; $S_2^{ca}(t-1)$ – сбережения прошлых лет в наличности; $Cr_2(t)$ – привлеченные кредиты домохозяйств. При этом величины $W(t)$, $Div_1(t)$ формируются при моделировании поведения агента “Совокупный производитель”; $Div_4(t)$, $Cr_2(t)$, $Dep_2(t)$ – при моделировании поведения агента “Финансовый сектор”, $Tr_3(t)$ – при моделировании поведения агентов “Государство” и являются входными координатами для модели функционирования агента “Домохозяйства”. Величина сбережений прошлых лет в наличности $S_2^{ca}(t-1)$ – это эндогенный параметр модели агента “Домохозяйства”, и ее формирование зависит от принятой стратегии агента в предыдущий момент времени.

Здесь же в зависимости от объема сбережений агента в предыдущем году и автономных кредитов в текущем году t определяется спрос домохозяйств на кредиты $Cr_2^{AD}(t)$ согласно правилу:

$$Cr_2^{AD}(t) = \begin{cases} \max(u_{ac} W(t); |S_2(t-1)|), & \text{если } S_2(t-1) < 0; \\ u_{ac}(t) W(t), & \text{если } S_2(t-1) > 0, \end{cases}$$

где $S_2(t-1)$ – объем сбережений домохозяйств в предыдущем году, $u_{ac}(t)$ – доля автономных кредитов домохозяйств в оплате труда. При этом показатель $S_2(t-1)$ представляет собой конечный финансовый результат функционирования агента “Домохозяйства” в предыдущем году, формирование которого рассмотрим ниже; а величина $u_{ac}(t)$ определяется исходя из ее значения в предыдущем году с корректировкой на коэффициенты изменения банковских ставок по кредитам $r_{cr}(t)$ и сбережений домохозяйств $S_2(t)$ согласно правилу:

$$u_{ac}(t) = \begin{cases} u_{ac}(t-1) \frac{r_{cr}(t-1)}{r_{cr}(t)} \frac{S_2(t-1)}{S_2(t)}, & \text{если } r_{cr}(t) > r_{cr}(t-1); \\ u_{ac}(t-1) \frac{r_{cr}(t)}{r_{cr}(t-1)} \frac{S_2(t-1)}{S_2(t)}, & \text{если } r_{cr}(t) < r_{cr}(t-1). \end{cases}$$

Спрос на кредиты $Cr_2^{AD}(t_0)$ для начального периода t_0 рассчитывается следующим образом:

$$Cr_2^{AD}(t_0) = u_{ac}(t_0) W(t_0),$$

где величина $u_{ac}(t_0)$ характеризует долю автономных кредитов в фонде оплаты труда в начальный момент времени t_0 , значение которой задано.

Расходы домохозяйств в текущем году t формируются за счет потребления домохозяйств, обязательных платежей и взносов, погашения кредитов и прочих расходов согласно уравнению:

$$Out_2(t) = C_2(t) + T_2(t) + RCr_2(t) + Ot_2(t),$$

где $Out_2(t)$ – расходы домохозяйств, $C_2(t)$ – потребление домохозяйств; $T_2(t)$ – обязательные платежи и взносы домохозяйств; $RCr_2(t)$ – погашение домохозяйствами кредитов; $Ot_2(t)$ – прочие расходы домохозяйств в текущем году.

При описании процесса потребления домохозяйств $C_2(t)$ в текущий момент времени t используется поведенческая функция потребителей Дж. Кейнса, согласно которой люди склонны увеличивать свое потребление с ростом дохода, но не в той же мере, в какой растет доход. Согласно этому принципу, если доходы текущего года растут относительно предыдущего года, т.е. выполняется условие $\Delta In_2(t) > 0$, где $\Delta In_2(t) = In_2(t) - In_2(t-1)$, то потребление $C_2(t)$ определяется по формуле

$$C_2(t) = k_{apc} In_2(t) + u_{mpc}(t) \Delta In_2(t).$$

Здесь коэффициент средней склонности к потреблению k_{apc} задается в виде константы модели, а расчет коэффициента предельной склонности к потреблению $u_{mpc}(t)$ выполняется по правилу:

$$u_{mpc}(t) = \begin{cases} u_{mpc}(t-1) \frac{In_2(t)}{In_2(t-1)} \frac{Out_2(t-1)}{Out_2(t)}, & \text{если } S_2(t) > 0; \\ 0, & \text{если } S_2(t) < 0. \end{cases}$$

Если же $\Delta In_2(t) < 0$, то для расчета потребления населения в текущем году t используется выражение

$$C_2(t) = k_{apc} In_2(t).$$

Для начального года t_0 потребление домохозяйств $C_2(t_0)$ рассчитывается пропорционально его доходам согласно соотношению

$$C_2(t_0) = k_{apc} In_2(t_0),$$

а расходы на обязательные платежи и взносы $T_2(t)$ в году t пропорциональны оплате труда:

$$T_2(t) = c_T(t) W(t),$$

где $c_T(t)$ – ставка индивидуальных налогов на текущий момент времени. При этом параметр $c_T(t)$ выступает в качестве внешнего сценарного параметра агента “Государство (региональное правительство)”. Поток $T_2(t)$ является выходной координатой модели и направляется в модель поведения агента “Государство (региональное правительство)”.

Объем расходов $RCr_2(t)$, направленных домохозяйствами на погашение кредитов в году t , рассчитывается исходя из соотношения:

$$RCr_2(t) = (1 + r_{cr}(t-1)) Cr_2(t-1),$$

где $Cr_2(t-1)$ – объем привлеченных кредитов в предыдущем периоде; $r_{cr}(t-1)$ – процентная ставка по кредитам предыдущего года, являющаяся регулятором агента “Финансовый рынок”.

Для начального года t_0 расходы на погашение кредитов определяются исходя из доли автономных кредитов $u_{ac}(t_0)$ в фонде оплаты труда на этот период времени:

$$RCr_2(t_0) = u_{ac}(t_0) W(t_0).$$

Расходы на погашение кредитов $RCr_2(t)$ – это выходная координата модели и направляется в модель поведения агента “Финансовый сектор”.

Объем прочих расходов домохозяйств $Ot_2(t)$ в текущем году t исчисляется пропорционально объему потребления домохозяйств $C_2(t)$ с коэффициентом пропорциональности k_{Ot} :

$$Ot_2(t) = k_{Ot} C_2(t).$$

Здесь коэффициент выступает в качестве константы рассматриваемой модели.

Финансовым результатом деятельности агента “Домохозяйства” на текущий момент времени t выступает объем сбережений $S_2(t)$. Баланс сбережений домохозяйств описывается уравнением:

$$\frac{dS_2(t)}{dt} = In_2(t) - Out_2(t).$$

Сбережения домохозяйств $S_2(t)$, если таковые имеются, т.е. при условии $S_2(t) > 0$, декомпозируются на две составляющие: сбережения в наличности $S_2^{ca}(t)$ и сбережения во вкладах $S_2^{co}(t)$. Объем сбережений в наличности $S_2^{ca}(t)$ в текущем году определяется пропорционально их доли $u_{ca}(t)$ в сбережениях:

$$S_2^{ca}(t) = u_{ca}(t)S_2(t).$$

Расчет доли сбережений в наличности $u_{ca}(t)$ в году t происходит на основе ее значения в предыдущем году с учетом корректировки на темп роста ставок банковских вкладов и изменения индексов цен на продукцию совокупного производителя согласно формуле:

$$u_{ca}(t) = u_{ca}(t-1) \frac{r_{dep}(t)}{r_{dep}(t-1)} \frac{def_{pp}(t-1)}{def_{pp}(t)},$$

где $r_{dep}(t)/r_{dep}(t-1)$ – темп роста ставок банковских вкладов; $def_{pp}(t-1)/def_{pp}(t)$ – изменение индексов потребительских цен.

Сбережения во вкладах $S_2^{co}(t)$ для года t находятся как разница между сбережениями домохозяйств $S_2(t)$ и сбережениями в наличности $S_2^{ca}(t)$:

$$S_2^{co}(t) = S_2(t) - S_2^{ca}(t).$$

Сбережения во вкладах $S_2^{co}(t)$ являются выходным параметром модели и направляются в качестве входной координаты в модель поведения агента “Финансовый сектор”.

Таким образом, предложенная схема моделирует логику поведения экономического агента через механизм регулирования текущего и перспективного объема потребления, стремления к его максимизации в долгосрочной перспективе при обеспечении неотрицательного объема сбережений.

Экономический агент “Государство (региональное правительство)” выступает в рамках модели одним из потребителей производимого конечного продукта и выполняет функции основного макроэкономического регулятора. Стратегия поведения агента заключается в регулировании уровня государственного спроса на конечный продукт, определении величины экономических регуляторов, обеспечивающих заданный индикативным планом прирост объема предложения.

Модель поведения агента “Государство (региональное правительство)” описана в рамках предложенной стратегии поведения экономических агентов по схеме “Доходы” – “Расходы” – “Результат-стратегия”.

Доходы агента $In_3(t)$ в текущем году t формируются за счет доходов бюджета региона $In_3^{br}(t)$, федерального бюджета $In_3^{bf}(t)$ и внебюджетных фондов $In_3^{obf}(t)$:

$$In_3(t) = In_3^{br}(t) + In_3^{bf}(t) + In_3^{obf}(t).$$

Бюджет региона $In_3^{br}(t)$ в текущем году складывается из налоговых $In_{tax}(t)$, неналоговых $In_{max}(t)$ поступлений, межбюджетных трансфертов $In_{tr}(t)$, доходов от финансовых вложений $Dep_3(t)$ и бюджетных заимствований $Cr_3(t)$ по формуле:

$$In_3^{br}(t) = In_{tax}(t) + In_{max}(t) + In_{tr}(t) + Dep_3(t) + Cr_3(t).$$

Компоненты $Dep_3(t)$, $Cr_3(t)$ являются входными параметрами модели, значения которых формируются при моделировании поведения агента “Финансовый сектор”. Здесь же определяется

спрос государства на кредиты $Cr_3^{AD}(t)$, процесс формирования которого управляемый и выполняется на основе информации о сбережениях регионального бюджета $S_3^{br}(t)$ согласно правилу:

$$Cr_3^{AD}(t) = \begin{cases} c(t)In_{tax}(t), & \text{если } S_3^{br}(t) < 0; \\ 0, & \text{если } S_3^{br}(t) > 0. \end{cases}$$

Здесь расчет коэффициента $c(t)$ производится на основе итерационного алгоритма реализации стратегии экономического агента “Государство (региональное правительство)”, схема которого описана ниже.

Параметр $In_{tr}(t)$ формируется при моделировании расходов федерального бюджета.

Расчет налоговых поступлений $In_{tax}(t)$ ведется по формуле:

$$In_{tax}(t) = TP_1^{br}(t) + TP_4^{br}(t) + Ak(t) + T_2(t) + TK(t) + T_3(t),$$

где $TP_1^{br}(t)$, $TP_4^{br}(t)$ – часть налога на прибыль “Совокупного производителя” и “Финансового сектора” соответственно, поступающая в региональный бюджет с коэффициентом пропорциональности k_{br} , заданным в виде константы модели; $Ak(t)$ – акцизы, $T_2(t)$ – обязательные платежи и взносы домохозяйств; $TK(t)$ – налог на имущество; $T_3(t)$ – прочие налоговые доходы. При этом компоненты $TP_1^{br}(t)$, $TP_4^{br}(t)$, $T_2(t)$ формируются при моделировании поведения агентов “Совокупный производитель”, “Финансовый сектор” и “Домохозяйства” соответственно и являются входными параметрами модели. Объем акцизов $Ak(t)$ в текущем году вычисляется согласно соотношению

$$Ak(t) = c_{ak}(t)TI(t),$$

где $TI(t)$ – косвенные налоги, объем которых формируется при моделировании поведения агента “Совокупный производитель”; $c_{ak}(t)$ – доля акцизов в косвенных налогах. Здесь параметр $c_{ak}(t)$ выступает в качестве регулятора агента “Государство (региональное правительство)”.

Расчет налога на имущество $TK(t)$ в текущем году t ведется по формуле:

$$TK(t) = c_K(t)K(t),$$

где $K(t)$ – стоимость основных производственных фондов, величина которой формируется при моделировании поведения агента “Совокупный производитель”; $c_K(t)$ – ставка налога на имущество. При этом параметр $c_K(t)$ выступает в качестве регулятора агента.

Объем прочих налоговых поступлений $T_3(t)$ определяется согласно соотношению

$$T_3(t) = c_{tax}(t)(TP_{13}(t) + TP_{43}(t) + Ak(t) + T_2(t) + TK(t)),$$

где коэффициент $c_{tax}(t)$ характеризует долю прочих налоговых поступлений в налоговых доходах бюджета и является сценарным параметром агента “Государство (региональное правительство)”.

Объем неналоговых поступлений $In_{ntax}(t)$ вычисляется пропорционально объему налоговых поступлений $In_{tax}(t)$ по формуле

$$In_{ntax}(t) = k_{ntax}In_{tax}(t),$$

где k_{ntax} – доля неналоговых поступлений в налоговых доходах бюджета региона. Здесь параметр k_{ntax} выступает в качестве константы модели.

Доходы федерального бюджета $In_3^{bf}(t)$ в текущий момент времени t формируются за счет налога на прибыль и косвенных налогов:

$$In_3^{bf}(t) = TP_1^{bf}(t) + TP_4^{bf}(t) + TI^{bf}(t),$$

где $TP_1^{bf}(t)$, $TP_4^{bf}(t)$ – часть налога на прибыль “Совокупного производителя” и “Финансового сектора” соответственно, поступающая в федеральный бюджет с коэффициентом пропорциональности k_{bf} ; $TI^{bf}(t)$ – величина косвенных налогов в федеральный бюджет. При этом параметр k_{bf} задается в качестве константы модели, а компонента $TI^{bf}(t)$ рассчитывается согласно формуле

$$TI^{bf}(t) = TI(t) - Ak(t).$$

Внебюджетные фонды $In_3^{obf}(t)$ образуются за счет потока налоговых выплат в виде единого социального налога $TS(t)$, объем которых формируется при моделировании поведения агента “Совокупный производитель”.

Расходы агента $Out_3(t)$ в текущем году t складываются из расходов регионального бюджета $Out_3^{br}(t)$, федерального бюджета $Out_3^{bf}(t)$ и внебюджетных фондов $Out_3^{obf}(t)$ по формуле

$$Out_3(t) = Out_3^{br}(t) + Out_3^{bf}(t) + Out_3^{obf}(t).$$

Определение расходов регионального бюджета $Out_3^{br}(t)$ в текущем году:

$$Out_3^{br}(t) = a(t)In_3^{br}(t) + RCr_3(t),$$

где $a(t)$ – доля расходов регионального бюджета от его доходов, $RCr_3(t)$ – погашение государством кредитов. Расчет величины $a(t)$ производится на основе итерационного алгоритма реализации стратегии агента “Государство (региональное правительство)”, описание которого представлено ниже.

Объем расходов $RCr_3(t)$, направленных региональным бюджетом на погашение кредитов в году t , получается из соотношения

$$RCr_3(t) = (1 + r_{cr}(t-1))Cr_3(t-1),$$

где $Cr_3(t-1)$ – объем привлеченных кредитов (бюджетных заимствований) в предыдущем периоде; $r_{cr}(t-1)$ – банковская ставка по кредитам предыдущего года, являющаяся внешним регулятором агента “Финансовый рынок”. В начальный момент времени величина параметра $RCr_3(t_0)$ задана. Расходы на погашение кредитов $RCr_3(t)$ будут выходной координатой модели и направляются в модель поведения агента “Финансовый сектор”.

Расходы регионального бюджета $Out_3^{br}(t)$ декомпозируются по следующим направлениям: расходы на государственное потребление $C_3^{br}(t)$, бюджетные инвестиции $I_3(t)$, социальные трансферты $Tr_3(t)$ и субсидии.

Объем расходов на государственное потребление $C_3(t)$:

$$C_3^{br}(t) = u_c(t)Out_3^{br}(t),$$

где $u_c(t)$ – доля государственного (регионального) потребления в расходах регионального бюджета. Коэффициент $u_c(t)$ выступает в качестве эндогенного параметра модели, величина которого зависит от стратегии агента.

Объем бюджетных инвестиций $I_3(t)$ в текущем году t :

$$I_3(t) = u_I(t)Out_3^{br}(t),$$

где $u_I(t)$ характеризует долю бюджетных инвестиций в расходах регионального бюджета и выступает в качестве эндогенного параметра модели, значение которого зависит от стратегии агента.

Потоки $C_3^{br}(t)$ и $I_3(t)$ являются выходными и направляются в качестве входных координат в модель поведения агента “Совокупный производитель”.

Объем социальных трансфертов из регионального бюджета $Tr_3(t)$ в году t рассчитывается пропорционально расходам регионального бюджета согласно соотношению

$$Tr_3(t) = k_r Out_3^{br}(t),$$

где k_r – доля социальных трансфертов в расходах регионального бюджета задается в виде константы модели. Поток $Tr_3(t)$ является выходным и направляется в качестве входной координаты в модель поведения агента “Домохозяйства”.

Расходы федерального бюджета $Out_3^{bf}(t)$ на текущий момент времени t складываются из расходов на межбюджетные трансферты $In_r(t)$ и государственное (федеральное) потребление $C_3^{bf}(t)$:

$$Out_3^{bf}(t) = In_r(t) + C_3^{bf}(t).$$

Расчет объема межбюджетных трансфертов $In_{tr}(t)$ ведется пропорционально доходам федерального бюджета:

$$I_{tr}(t) = k_{btr} In_3^{bf}(t),$$

где k_{btr} характеризует долю межбюджетных трансфертов в доходах федерального бюджета и задается в виде константы модели.

Расходы на государственное потребление $C_3^{bf}(t)$ определяются пропорционально доходам федерального бюджета согласно соотношению

$$C_3^{bf}(t) = k_C In_3^{bf}(t),$$

где коэффициент k_C определяет долю расходов на государственное потребление в доходах федерального бюджета и выступает в качестве константы модели.

Объем расходов внебюджетных фондов $Out_3^{obf}(t)$ в текущем году рассчитывается пропорционально их доходам:

$$Out_3^{obf}(t) = k_{obf} TS(t),$$

где коэффициент k_{obf} характеризует долю расходов внебюджетных фондов в их доходах и выступает в качестве константы модели.

Потоки $C_3^{bf}(t)$, $Out_3^{obf}(t)$ – выходные и направляются в модель поведения агента “Совокупный производитель”.

Финансовым результатом деятельности агента “Государство (региональное правительство)” на текущий момент времени t является объем сбережений $S_3(t)$. Баланс сбережений государства описывается с помощью уравнения

$$\frac{dS_3(t)}{dt} = In_3(t) - Out_3(t).$$

Баланс сбережений регионального бюджета $S_3^{br}(t)$ рассчитывается следующим образом:

$$\frac{dS_3^{rb}(t)}{dt} = In_3^{rb}(t) - Out_3^{rb}(t).$$

Поток сбережений регионального бюджета $S_3^{br}(t)$ является выходным параметром модели и направляется в виде потока привлеченных депозитов в модель поведения агента “Финансовый сектор”.

В целом предложенная схема моделирует логику поведения экономического агента “Государство (региональное правительство)” через механизм регулирования объемов государственных расходов и стремления к обеспечению заданного индикативным планом объема предложения конечного продукта, производимого агентом “Совокупный производитель”.

В рамках модели экономический агент “Финансовый сектор” – это основной сберегатель свободных финансовых ресурсов и поставщик кредитных ресурсов для остальных экономических агентов. Цель реализации итерационного алгоритма для экономического агента “Финансовый сектор” – поиск рыночного объема предложения кредитных ресурсов, обеспечивающих потребности экономических агентов, а также регулирование процентной ставки по кредитам и вкладам на основе величины спроса и предложения на денежном рынке.

Доходы агента $In_4(t)$ на текущий момент времени t формируются на основе доходов от кредитования $In_{cr}(t)$, привлеченных депозитов $In_{dep}(t)$, накопленного страхового резерва $\sum_{i=t_0}^{t-1} Rin(i)$ предыдущих лет и запаса капитала $St_4(t-1)$:

$$In_4(t) = In_{cr}(t) + In_{dep}(t) + \sum_{i=t_0}^{t-1} Rin(i) + St_4(t-1).$$

Доходы от кредитования $In_{cr}(t)$ складываются из объемов возвратов кредитов остальными агентами:

$$In_{cr}(t) = \sum_{i=1}^3 RCr_i(t),$$

где $RCr_i(t)$, $i = 1, 2, 3$ – объемы погашения кредитов “Совокупным производителем”, “Домохозяйствами” и “Государством (региональное правительство)” соответственно. Потоки $RCr_i(t)$, $i = 1, 2, 3$, являются входными для модели агента “Финансовый сектор” и формируются как статьи расходов в моделях поведения соответствующих экономических агентов.

Доходы от привлеченных депозитов формируются согласно формуле

$$In_{dep}(t) = S_1(t) + S_2^{co}(t) + S_3^{br}(t),$$

где $S_1(t)$ – сбережения совокупного производителя, $S_2^{co}(t)$ – сбережения домохозяйств во вкладах, $S_3^{br}(t)$ – сбережения во вкладах агента “Государство (региональное правительство)”. При этом $S_1(t)$, $S_2^{co}(t)$, $S_3^{br}(t)$ – входные параметры модели “Финансовый сектор” и вычисляются в моделях поведения соответствующих агентов.

Объем средств, направленных на страховой резерв $Rin(t)$, является эндогенным параметром модели и определяется как статья расходов агента, формирование которой рассмотрим ниже.

Запас капитала $St_4(t-1)$ также выступает в качестве эндогенного параметра модели, величина которого зависит от принятой стратегии агента в предыдущем году.

Расходы агента “Финансовый сектор” $Out_4(t)$ в текущем году складываются из объемов возврата вкладов $Out_{dep}(t)$, страхового резерва $Rin(t)$ и выданных кредитов $Cr(t)$:

$$Out_4(t) = Out_{dep}(t) + Rin(t) + Cr(t).$$

Объем возврата вкладов $Out_{dep}(t)$ формируется за счет возврата агентам их финансовых вложений по формуле

$$Out_{dep}(t) = \sum_{i=1}^3 Dep_i(t),$$

где $Dep_i(t)$, $i = 1, 2, 3$, – объемы возврата финансовых вложений агентам “Совокупный производитель”, “Домохозяйства” и “Государство (региональное правительство)” соответственно. Расчет значений $Dep_i(t)$, $i = 1, 2, 3$, осуществляется на основе финансовых вложений соответствующих агентов в предыдущем году $S_i(t-1)$ и сложившейся на тот период банковской ставки по вкладам $r_{cr}(t-1)$:

$$Dep_i(t) = (1 + r_{dep}(t-1))S_i(t-1).$$

Банковская ставка по вкладам $r_{dep}(t)$ выступает в качестве эндогенного управляющего параметра модели, формирование величины которой рассмотрим ниже. Потоки $Dep_i(t)$ являются выходными параметрами модели и направляются в качестве входных координат в модели поведения соответствующих агентов.

Объем страхового резерва $Rin(t)$ в текущем году рассчитывается пропорционально доходам агента $In_3(t)$:

$$Rin(t) = k_{rin} In_3(t),$$

где коэффициент k_{rin} определяет норму резервирования и выступает в качестве константы модели.

Объем выданных кредитов $Cr(t)$ в текущем году складывается из объемов кредитов, выданных остальным агентам:

$$Cr(t) = \sum_{i=1}^3 Cr_i(t),$$

где $i = 1, 2, 3$; $Cr_i(t)$ – объемы выданных кредитов агентам “Совокупный производитель”, “Домохозяйства” и “Государство (региональное правительство)” соответственно. Объемы выданных кредитов агентам $Cr_i(t)$ для текущего года t определяются исходя из их спроса и предложения финансовым рынком кредитов:

$$Cr_i(t) = \min(Cr_i^{AS}(t); Cr_i^{AD}(t)), \quad i = 1, 2, 3,$$

где $Cr_i^{AD}(t)$ – спрос на кредиты; $Cr_i^{AS}(t)$ – предложение кредитов агентам “Совокупный производитель”, “Домохозяйства”, “Государство (региональное правительство)” соответственно. Здесь $Cr_i^{AD}(t)$ – это входные потоки для модели агента “Финансовый сектор”, формируются при моделировании поведения соответствующих агентов; $Cr_i(t)$, $i = 1, 2, 3$, – выходные и направляются в качестве входных координат в модели поведения соответствующих агентов.

Объемы предложенных агентам финансовым рынком кредитов $Cr_i^{AS}(t)$, $i = 1, 2, 3$, формируются на основе совокупного предложения кредитов $Cr^{AS}(t)$, величина которого определяется по формуле

$$Cr^{AS}(t) = In_4(t) - Out_{dep}(t) - \sum_{i=t_0}^{t-1} Rin(i).$$

Объем предложения кредита $Cr_3^{AS}(t)$ агенту “Государство (региональное правительство)” в текущем году t рассчитывается по правилу

$$Cr_3^{AS}(t) = \begin{cases} Cr_3^{AD}(t), & \text{если } Cr^{AS}(t) > Cr_3^{AD}(t); \\ Cr^{AS}(t), & \text{если } Cr^{AS}(t) < Cr_3^{AD}(t). \end{cases}$$

Объемы предложения кредитов производителям и домохозяйствам $Cr_i^{AS}(t)$, $i = 1, 2$, пропорциональны их спросу $Cr_i^{AD}(t)$:

$$Cr_i^{AS}(t) = \frac{Cr^{AS}(t) - Cr_3^{AS}(t)}{Cr^{AD}(t) - Cr_3^{AD}(t)} Cr_i^{AD}(t), \quad i = 1, 2,$$

где компонента $Cr^{AD}(t)$ характеризует совокупный спрос на кредиты:

$$Cr^{AD}(t) = \sum_{i=1}^3 Cr_i^{AD}.$$

Здесь же производится перерасчет величины ставки по кредитам $r_{cr}(t)$ в зависимости от изменения соотношений совокупного спроса $Cr^{AD}(t)$ и предложения на кредитные ресурсы согласно формуле

$$r_{cr}(t) = r_{cr}(t-1) \frac{Cr^{AD}(t)}{Cr^{AS}(t)}.$$

Величина ставки по вкладам $r_{dep}(t)$ в текущем году рассчитывается пропорционально динамике процентной ставки по кредитам по формуле

$$r_{dep}(t) = r_{dep}(t-1) \frac{r_{cr}(t)}{r_{cr}(t-1)}.$$

Оставшаяся часть дохода агента составляет валовую прибыль $CP_4(t)$ финансового рынка в текущем году t и находится из балансового уравнения

$$GP_4(t) = In_4(t) - Out_4(t) - \sum_{i=t_0}^{t-1} Rin(i).$$

Финансовым результатом деятельности агента “Финансовый сектор” в текущем году t является получение чистой прибыли $PN_4(t)$, объем которой находится из уравнения

$$PN_4(t) = GP_4(t) - TP_4(t),$$

где $TP_4(t)$ – налог на прибыль финансового рынка, значение которого определяется пропорционально его доле в валовой прибыли $GP_4(t)$ агента:

$$TP_4(t) = c_{TP}(t)GP_4(t).$$

Здесь коэффициент $c_{TP}(t)$ выступает в качестве внешнего сценарного параметра стратегии агента “Государство (региональное правительство)”. Поток $TP_4(t)$ является выходным и направляется согласно соответствующим коэффициентам пропорциональности в модели поведения агентов “Государство (региональное правительство)” и “Внешний мир”.

На следующем этапе согласно стратегии агента идет распределение чистой прибыли $PN_4(t)$ на две составляющие: увеличение запаса капитала $\Delta St_4(t)$ и выплаты дивидендов собственникам $Div_4(t)$.

Объем средств, направленных на увеличение запаса капитала финансового рынка в текущем году, пропорционален его доле в чистой прибыли:

$$\Delta St_4(t) = u_{St}(t)PN_4(t).$$

Здесь коэффициент $u_{St}(t)$ отражает долю прибыли, направленную на увеличение запаса капитала, и рассчитывается по формуле

$$u_{St}(t) = u_{St}(t-1) \frac{Cr^{AD}(t)Cr^{AS}(t-1)}{Cr^{AS}(t)Cr^{AD}(t-1)}.$$

В начальный момент времени величина коэффициента $u_{St}(t_0)$ задана.

Процесс формирования запаса капитала агента “Финансовый сектор” в году t описывается уравнением

$$\frac{dSt_4(t)}{dt} = \Delta St_4(t).$$

Объем выплат дивидендов собственникам $Div_4(t)$ определяется как разница между чистой прибылью $PN_4(t)$ и объемом средств, направленных на увеличение запаса капитала $\Delta St_4(t)$:

$$Div_4(t) = PN_4(t) - \Delta St_4(t).$$

Здесь $Div_4(t)$ является выходным параметром модели и направляется в качестве входной координаты в модель поведения агента “Домохозяйства”.

Таким образом, предложенная схема моделирует логику поведения экономического агента “Финансовый сектор” через механизм регулирования объемов кредитования экономических агентов и равновесной рыночной величины процентной ставки.

3. ОБОБЩЕННАЯ СХЕМА УПРАВЛЯЮЩЕГО АЛГОРИТМА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Базовой подсистемой модели управления является индикативный план, в котором задаются целевые параметры развития экономики региона на долгосрочную перспективу. В качестве основного индикатора в модели заложен объем ВРП (темп экономического роста). На основе заданного индикативного плана на следующем этапе формируются исходные значения вектора управляющих параметров модели. Управляющие параметры как государственные регуляторы сгруппированы в рамках трех подмножеств – налоговые регуляторы (ставки страховых взносов, налога на прибыль, косвенных налогов, налога на имущество, налога на доходы физических лиц), бюджетные регуляторы регионального уровня (объем государственного потребления, бюджетные инвестиции) и ценовые регуляторы (процентная ставка, индекс потребительских цен).

На основе комбинирования параметров бюджетно-налоговых и ценовых регуляторов формируется вектор-множество сценарных вариантов моделирования, определяющих (в соответствии с заданной шкалой) интенсивность реализации каждого типа управляющих воздействий, сгруппированных по вариантам (базовый, оптимистический, пессимистический). На следующем этапе, в соответствии с логикой и структурой управляющего алгоритма модели, управляющие

параметры, сгруппированные по сценарным вариантам, подаются на вход основных функциональных блоков модели (совокупный производитель, домохозяйства, государство, финансовый сектор, внешний мир), корректируя тем самым логику принятия решений экономическими агентами в соответствии с заложенным алгоритмом и реализуемой стратегией. Тем самым в модели изменяются финансовые потоки и, как следствие, результаты экономической деятельности как отдельных агентов, так и макроэкономической системы в целом.

На завершающем этапе итерационного алгоритма управления результаты деятельности макросистемы аккумулируются в виде основных параметров социально-экономического развития в подсистеме “Макропоказатели”, на каждом этапе итерационного пересчета эти данные сопоставляются с заданными целевыми параметрами индикативного плана. Рассогласование между текущими и целевыми значениями индикаторов подаются в блок регуляторов, где соответствующим образом (согласно алгоритмам) корректируются заданные в предыдущем итерационном цикле параметры управления. Итеративный пересчет величины управляющих воздействий продолжается до достижения равенства текущих и индикативных значений макропоказателей. В упрощенном варианте модели условием остановки алгоритма пересчета может, например, стать достижение заданной величины прироста ВРП, а в качестве основного регулятора может использоваться величина государственного потребления (расходов бюджета региона) как рыночного механизма стимулирования спроса на конечный продукт. Остальные управляющие параметры в рамках упрощенной модели, например, могут быть заданы в виде сценарных условий либо оставаться неизменными на заданном горизонте планирования.

Основное ценностное отличие такой конструкции динамической имитационной модели заключается в том, что модель не столько прогнозирует развитие экономики на средне- и долгосрочную перспективу, сколько позволяет оценить степень ее устойчивости к возникновению возможных дисбалансов, кризисным явлениям при разной степени нагрузки на экономику, задаваемой в модели в виде целевого темпа экономического роста. При этом возможно экспериментально смоделировать некоторые предельные темпы экономического роста при данных воспроизводственных пропорциях, обеспечивающие сохранение устойчивости социально-экономической системы региона на заданную перспективу, а также подобрать упреждающие управляющие воздействия и меры экономической политики, позволяющие избежать возникновения таких дисбалансов в случае, например, недостаточности ресурсов и текущего потенциала экономики на моделируемой траектории его развития.

4. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

На основе предложенной модельной конструкции проведена оценка устойчивости финансовой сферы экономики Республики Башкортостан при индикативном плане, задающем средний темп роста ВРП (на уровне порядка 5–6%) на долгосрочную перспективу до 2030 г. В качестве ориентира динамики ВРП в модели приняты темпы экономического роста, обозначенные в рамках “Концепции долгосрочного развития РФ до 2020 г.”, “Стратегии социально-экономического развития Республики Башкортостан до 2020 г.”, в долгосрочной перспективе до 2030 г. заложенный тренд был экстраполирован. На основе заданного индикативного плана рассчитаны базовые параметры финансовой сферы региона, обеспечивающие достижение заданных темпов экономического роста (рис. 2).

Экспериментальные расчеты позволили сделать вывод о том, что при априорно заданной в рамках индикативного плана средней динамике экономического роста на долгосрочную перспективу до 2030 г. на уровне порядка 5–6% финансовая сфера экономики Республики Башкортостан сохранит устойчивость по базовым показателям.

Разработанный инструментарий был апробирован при прогнозной оценке консолидированного бюджета Республики Башкортостан на 2014 г. и на плановый период до 2016 г. На основе модельных и прогнозных расчетов по базовому (“умеренно-оптимистичному”) сценарию варианты налоговые доходы консолидированного бюджета на 2013 г. спрогнозированы в объеме 122,2 млрд руб., на 2014 г. – 136,1 млрд руб., на 2015 г. – 149,2 млрд руб., что на 1,7, 3,9 и

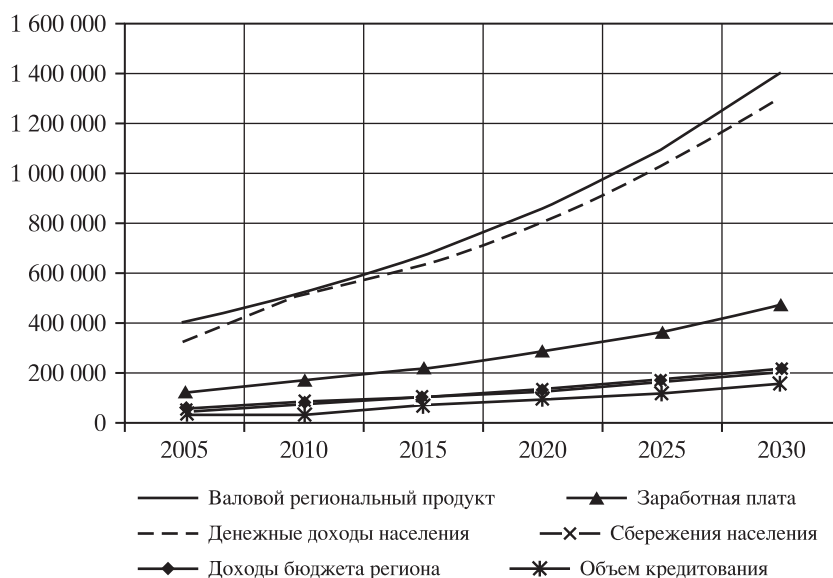


Рис. 2. Прогнозная оценка отдельных макропараметров Республики Башкортостан в долгосрочной перспективе, млн руб. в ценах базового 2005 г.

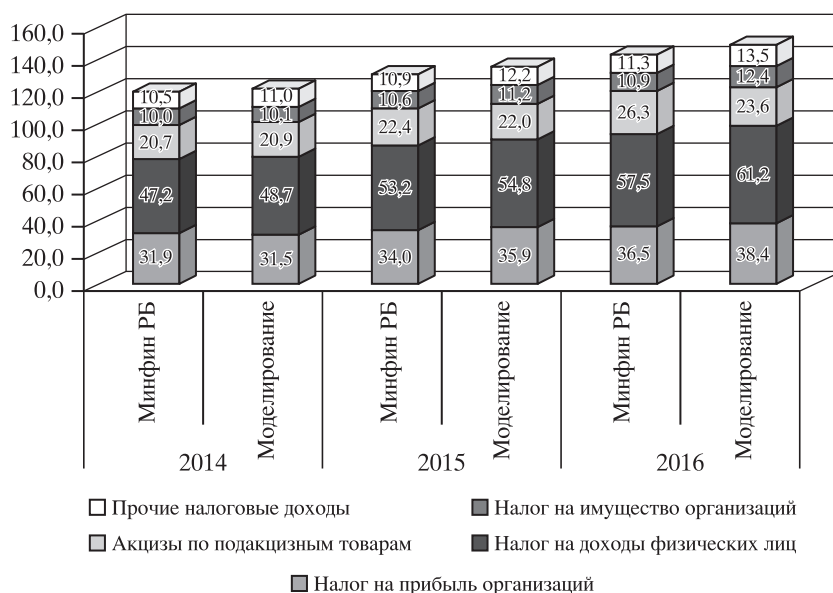


Рис. 3. Прогноз налоговых доходов консолидированного бюджета Республики Башкортостан на период до 2016 г., млрд руб.

4,7% выше соответствующих показателей официального прогноза Министерства финансов Республики Башкортостан. Модельные расчеты показывают, что расходование формируется за счет более оптимистических оценок поступлений по налогу на доходы физических лиц (в 2016 г. превышение составляет 6,4%), налогу на прибыль организаций (в 2016 г. превышение составляет 5,2%), прочих налоговых доходов (в 2015 г. превышение до 19,9%) (рис. 3).

По консервативному и форсированному вариантам объемы налоговых доходов консолидированного бюджета также оцениваются несколько выше официальных прогнозов Министерства финансов Республики Башкортостан и составляют, соответственно, на 2014 г. – 119,4 млрд руб. и 122,8 млрд руб., на 2015 г. – 131,1 млрд руб. и 138,2 млрд руб., на 2016 г. – 142,7 млрд руб. и 153,7 млрд руб. Таким образом, применение разработанных методических подходов и модельно-

Таблица. Сопоставительная оценка точности прогнозирования по ретроспективным данным

Налоговые доходы, млрд руб.	Прогноз Минфина РБ	Сценарные расчеты по модели			Отчет об исполнении бюджета за 2012 г.	Отклонение от факта, %
		Варианты				
		1 (базовый)	2	3		
Всего доходов, в том числе:	92,2	97,6	99,2	94,8	102,3	11,0 / 4,8
налог на прибыль	27,4	29,6	30,4	28,3	32,3	17,9 / 9,1
НДФЛ	35,1	38,2	38,6	37,9	37,8	7,7 / 1,0
акцизы	14,1	14,4	14,6	13,9	14,9	5,7 / 3,5
налог на имущество	10,8	10,5	10,6	10	8,1	25 / 22,9
прочие налоговые доходы	4,8	4,8	4,9	4,7	9,2	

го инструментария позволяет рассчитывать альтернативные оценки по налоговым поступлениям в бюджеты различных уровней.

В целях оценки точности предложенных моделей была проведена *сопоставительная оценка* прогнозных и фактических значений поступлений налоговых доходов в консолидированный бюджет Республики Башкортостан на ретроспективных (отчетных) данных за 2012 г., которая подтвердила приемлемую прогностическую точность разработанной модели.

Так, на основе модели на 2012 г. совокупный объем налоговых доходов консолидированного бюджета РБ был спрогнозирован в объеме 97,6 млрд руб., при этом официальный прогноз Министерства финансов РБ при формировании бюджета был утвержден в объеме 92,2 млрд руб. Отчет Министерства финансов РБ о фактическом исполнении бюджета по налоговым доходам по состоянию на начало 2013 г. составил 102,3 млрд руб. Таким образом, прогнозные оценки, полученные на 2012 г. на основе модели, имеют отклонение от фактических значений исполнения бюджета на 4,8%. При этом собственные прогнозные оценки Министерства финансов РБ оказались намного менее точны – погрешность составила более 11,0%. Аналогичная ситуация по точности прогнозов наблюдается и по двум самым крупным налоговым доходам – налогу на прибыль и НДФЛ, где также погрешность прогноза по модели составляет от 1,0 до 9,1%, тогда как по прогнозу Министерства финансов РБ соответствующие неточности прогноза выше и составляют от 7 до 17,9%. Таким образом, сопоставительная оценка по фактическому исполнению бюджета подтверждает хорошую прогностическую точность предложенных моделей (см. таблицу).

Таким образом, результаты апробации разработанной имитационной модели свидетельствуют о достаточной степени адекватности и достоверности получаемых прогнозных оценок, что позволяет ее использовать в качестве практического инструмента решения прогнозных и аналитических задач при планировании развития регионов на средне- и долгосрочную перспективу.

В целом предложенный подход к моделированию экономической системы региона основан на логическом встраивании множества алгоритмов поведения экономических агентов через систему динамических балансов в единую модель управления и дальнейшем интегрировании на верхнем уровне иерархии всех информационных потоков в единую вычислительную систему. Практическая реализация предложенного инструментария позволит проводить различные вычислительные эксперименты для оценки степени взаимного влияния изменений экономических условий на макроуровне на функционирование экономических субъектов на микроуровне, вырабатывать рыночные механизмы воздействия на микросреду, обеспечивающие достижение целевых параметров экономического развития региона в средне- и долгосрочной перспективе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атаева А.Г., Исламова Д.В., Мустафин Э.Р., Орешников В.В.** (2011). Сравнительный анализ моделей регионального развития. [Электронный ресурс] // *Управление экономическими системами (электронный журнал)*. №10/2011 (34). УЭКС – Кисловодск: НОУ ВПО “Кисловодский институт экономики и права”. Режим доступа: <http://uecs.ru/component/flexicontent/items/item/737-2011-10-31-06-45-59?pop=1&tmpl=component&print=1>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: март 2014 г.).
- Валентей С.Д., Бахтизин А.Р., Валентик О.Н., Кольчугина А.В., Лыкова Л.Н.** (2013). Тренды развития экономик субъектов Российской Федерации // *Федерализм*. № 3. С. 167–188.
- Исмагилова Л.А., Климова Н.И.** (2013). Понятийный аппарат пространственной экономики с позиции ландшафтно-профильного подхода // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки*. № 180. С. 151–160.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р.** (2013). Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бахтизина Н.В.** (2009). Вычислимая модель экономики знаний // *Экономика и математические методы*. Т. 45. № 1. С. 70–82.
- Низамутдинов М.М.** (2009). Имитационное моделирование как инструмент обоснования среднесрочных стратегий регионального развития // *Экономика и управление*. № 5. С. 104–111.
- Орешников В.В., Шагапова Д.В.** (2009). Прогнозирование налоговых доходов бюджета региона (на примере Республики Башкортостан). В сб.: *“Проблемы функционирования и развития территориальных социально-экономических систем”*. Материалы III Всероссийской интернет-конференции. В 2-х частях. Часть I. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН.
- Печаткин В.В.** (2013). Инвестиционно-инновационное развитие регионов России: ключевые проблемы и направления их решения // *Экономическое возрождение России*. № 3 (37). С. 75–78.
- Фаттахов Р.В., Нешадин А.А.** (2013). Приоритеты государственной политики в сфере регионального развития Российской Федерации // *Общество и экономика*. № 1–2. С. 108–123.
- Фаттахов Р.В., Низамутдинов М.М.** (2013). Модельный инструментарий бюджетного планирования и регулирования межбюджетных отношений // *Экономика. Налоги. Право*. № 1. С. 36–44.

Поступила в редакцию
11.03.2014 г.

Conceptualization and Description of the Economic Agents' Strategies in Development Simulation Model of Regional Economy

R.V. Fattakhov, M.M. Nizamutdinov

The article presents approach to the development model of the regional economy based on integration of the triad of behavioral, dynamic balance- and managerial models. Mathematically formalized description of economic agents' behavior strategies is described in their interaction at the micro and macro levels as well as the management algorithm of the model. Some results of practical testing of the model at the regional level are discussed.

Keywords: region, development strategy, economic agents, behavior models, system dynamics, regional management, simulation.

JEL Classification: R150.