

## ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ И ПРИМЕНЕНИЮ АДАПТИВНО-ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РЕГИОНА

**Орешников В.В.**

*ФГБУН «Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра РАН», Уфа, Россия (450054, Уфа, пр. Октября, 71), e-mail: VOresh@mail.ru*

**В статье приводится описание подхода к разработке адаптивно-имитационной модели (АИМ) региональной системы. Предложенный подход базируется на последовательной адаптации как стратегий поведения агентов, так и управляющего воздействия к изменению экономической ситуации и включает три ключевых уровня – экономических агентов, управления и макросреды. Адаптивность поведения экономических агентов проявляется в формировании и корректировке доходной и расходной стратегии при взаимодействии в процессе производства, распределения и потребления благ посредством итерационного механизма взаимоадаптации. Модель управления региональным развитием определяет значения индикативного плана и регуляторов. В целях практического использования предложенного инструментария разработана методика обоснования стратегии социально-экономического развития региональной системы с применением АИМ. Проведена апробация.**

Ключевые слова: региональная система, моделирование, развитие региона, прогноз, стратегия.

## APPROACH TO DEVELOPMENT AND APPLICATION ADAPTIVE-SIMULATION REGION MODEL

**Oreshnikov V.V.**

*FSBIS «Institute of social and economic researches of Ufa scientific centre of Russian academy of sciences», Ufa, Russia (450054, Ufa, pr. Oktyabrya, 71), e-mail: VOresh@mail.ru*

**The article describes the approach to the regional system adaptive-simulation model development. The proposed approach based on consistent adaptation strategies as the agents behavior, as well as the control action for change the economic situation and includes three key levels – economic agents, management and macro environment. Adaptive behavior of economic agents manifests itself in the revenue and expenditure strategies development and adjustment by reacting in the production process, distribution and consumption of goods through an iterative adaptation mechanism. The regional development management model determines the indicative plan and regulators values. Methodology justification of socio-economic the regional system development developed using adaptive simulation model. The article describes this model approbation.**

Keywords: regional system, modeling, development of the region, forecast, strategy.

Управление региональным социально-экономическим развитием (РСЭР) требует понимания происходящих процессов, явлений и взаимосвязей, глубокого анализа текущей ситуации, тенденций изменения различных параметров и последствий принимаемых решений. На сегодняшний день в данной области существуют сложности практического характера, обусловленные, в том числе, несогласованностью целей (по уровням, горизонтам и субъектам управления), недостаточной системностью реализуемой экономической политики, отсутствием четкой системы анализа и эффективного использования управленческой информации, а также недостаточной методической разработанностью вопросов стратегического планирования. Кроме того, актуализируются вопросы обеспечения устойчивости регионального развития [2]. Перспективным направлением представляется применение современных технологий имитационного моделирования, позволяющих учитывать и оценивать последствия одновременного влияния множества пересекающихся

воздействий [1]. Несмотря на обширное количество работ по данной тематике (следует отметить таких исследователей, как Гранберг А.Г. [4], Гизатуллин Х.Н.[3], Бахтизин А.Р. [6], Суспицин С.А., Сушко Е.Д. [8], Цыбатов В.А. и т.д.), остается нерешенным ряд вопросов, касающийся методических и практических аспектов формализации адаптивных механизмов согласования интересов экономических агентов (ЭА), что и определило актуальность исследования. В рамках данной работы будем рассматривать стратегию СЭР региона как комплекс индикаторов, описывающих желаемое состояние системы в будущем, и управляющих параметров, реализация которых направлена на их достижение. Ключевым вопросом является определение баланса интересов основных ЭА. Для решения данной задачи была разработана концепция адаптивно-имитационной модели (АИМ) региона, основывающаяся на последовательной адаптации стратегий поведения агентов и управляющего воздействия к изменению экономической ситуации и включающая три ключевых уровня (рис.1).

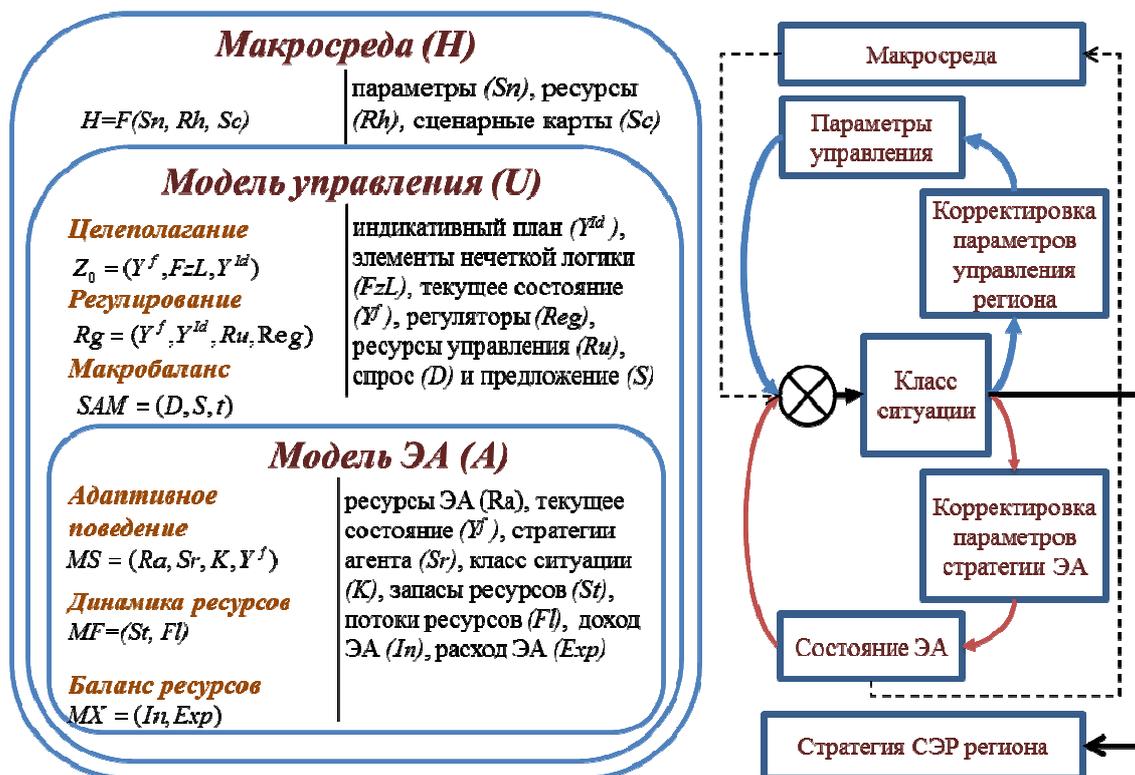


Рисунок 1. Концепция построения и логическая структура адаптивно-имитационной модели

Ядро АИМ – это комплекс моделей экономических агентов, который в общем виде описывается кортежем  $A = (MS, MF, MX)$ , где  $MS$  – блок адаптивного поведения экономического агента;  $MF$  – блок динамики ресурсов экономического агента;  $MX$  – блок баланса ресурсов экономического агента. Блок адаптивного поведения  $MS = (Ra, Sr, K, Y^f)$  описывает действия экономического агента по преобразованию имеющегося ресурса ( $Ra$ ) в определенный результат ( $Y^f$ ) в соответствии с заданной стратегией поведения ( $Sr$ ), исходя

из сложившегося в момент времени  $t$  класса ситуации ( $K$ ). Блок динамики ресурсов определяет изменение запасов ресурсов экономических агентов ( $St$ ) и потоков данных ресурсов ( $Fl$ ) и описывается кортежем элементов  $MF=(St, Fl)$ . Данный структурный элемент АИМ обеспечивает формирование горизонтальных и вертикальных связей в модели. Блок анализа сбалансированности, обеспечивающий поддержание расходов ( $Exp$ ) на уровне, обусловленном доходами ( $In$ ) и ресурсами экономического агента, описывается кортежем элементов  $MX = (In, Exp)$ . Совокупность экономических агентов, их функций и связей образуют объект управления в социально-экономической системе региона. Подмодель регионального управления ( $U$ ), структурно находящаяся над представленной выше моделью адаптивного поведения экономических агентов, включает два взаимосвязанных блока – целеполагания и регулирования. Отличительной особенностью блока целеполагания ( $Z_0$ ), реализующего определение и корректировку индикативного плана ( $Y^{ld}$ ), является использование элементов нечеткой логики ( $FzL$ ), что описывается кортежем  $Z_0 = (Y^f, FzL, Y^{ld})$ . Блок регулирования обеспечивает достижение индикативного плана и описывается кортежем  $Rg = (Y^f, Y^{ld}, Ru, Reg)$ , в рамках которого происходит настройка регуляторов управляющей системы ( $Reg$ ), исходя из поставленных целей развития  $Y_t^{ld}$  и имеющихся ресурсов ( $Ru$ ) при одновременном мониторинге ключевых макропоказателей ( $Y_t^f$ ), что позволяет обеспечить адаптивность управляющего воздействия.

Логика моделирования поведения ЭА основывается на формализации механизма трансформации имеющихся ресурсов в конечный результат деятельности через реализацию определенных экономических стратегий [7]. Процесс моделирования предполагает вложенность вычислений – последовательный расчет  $i$ -го варианта  $Y_t^{ld-i}$  для момента времени  $t$  включает вложенную процедуру расчета  $ij$ -ой комбинации  $reg_t^{ij}$ , в рамках которой происходит моделирование адаптивного функционирования экономических агентов ( $A$ ). По итогам мониторинга степени достижения  $Y_t^{ld-i}$  принимается решение о корректировке параметров  $reg_t^{ij}$ ,  $Y_t^{ld-i}$  или о переходе к следующему периоду  $t$ , что представлено ниже.

Функциональным ядром АИМ региона является комплекс моделей адаптивного поведения экономических агентов («Домохозяйства», «Производители» и «Государство»). В рамках модели класс ситуации  $\{K_t^s\}$  определяется сочетанием сценарных условий  $\{Sn_t^m\}$ , значений регуляторов  $\{Reg_t^j\}$ , результатов функционирования других экономических агентов  $\{Y_t^{f-lm}\}$  и текущего состояния данного агента. Адаптивность поведения экономических

агентов проявляется в формировании и корректировке доходной  $\{Sr_t^{in-m}\}$  и расходной стратегии  $\{Sr_t^{out-m}\}$  при взаимодействии в процессе производства, распределения и потребления благ посредством итерационного механизма взаимоадаптации. Механизм адаптивного поведения экономического агента представляет собой замкнутый контур, увязывающий факторы, стратегии и получаемые результаты. Каждый экономический агент обладает отличительными особенностями, обусловленными его структурой и положением в воспроизводственном процессе. В частности, в рамках формализации доходной стратегии агента «Домохозяйства» реализована процедура адаптивного поведения на рынке труда, где численность занятого населения  $L_t^{cp}$  определяется величиной заработной платы на одного работника  $Wg_t$ , численностью населения в трудоспособном возрасте  $P_t^{em}$ , а также величиной прочих доходов  $InH_t^{\Sigma n-p}$  и описывается функцией Гомпертца. Адаптивный механизм реализуется через согласование спроса и предложения на рынке труда и отражает степень удовлетворенности населения сложившимися условиями. Формирование расходной стратегии ЭА «Домохозяйства» заключается в определении объема дополнительных потребительских расходов  $OutH_t^{c-sc}$ , прироста средств на счетах  $OutH_t^{dep}$ , других смешанных расходов  $OutH_t^{om}$ . В итерационном алгоритме применяется функция вида  $OutH_t^m = OutH_t^m + RH_t^q * dRH_t^{mq}$ , где адаптация к изменению условий, происходящих на  $q$ -м шаге, осуществляется за счет корректировки доли  $dRH_t^{mq}$  распределяемого ресурса  $RH_t^q$  на финансирование  $m$ -го направления, т.е. осуществляется адаптация структуры расходов. Для экономического агента «Производитель» адаптивный механизм заключается в корректировке объема валового выпуска продукции, задаваемого с использованием производственной функции Кобба – Дугласа, в рамках которой определяется уровень оплаты труда  $Wg_t$  и степень загрузки основных фондов  $Ld_t$ . Основой адаптивного поведения в части расходной стратегии является определение объема инвестиций, исходя из ожидаемого спроса и необходимого объема выпуска продукции с учетом возможности инвестирования из прибыли  $I_t^{pr}$ . Адаптивное поведение экономического агента «Государство» определяется в рамках модели регионального управления.

В общем виде реализация управляющего алгоритма заключается в определении значений индикативного плана  $Y_t^{ld}$  как количественного выражения целей регионального развития. Корректировка индикативного плана производится в случае выявления рассогласования между заданными и расчетными значениями параметров (табл. 1).

Таблица 1

## Сочетание степени достижения индикаторов и ресурсных возможностей РСЭР

| Ресурс             | Индикаторы достигнуты              |  | Индикаторы не достигнуты                        |
|--------------------|------------------------------------|--|---|
|                    | В равной степени                   | Не в равной степени                              | В равной степени                                |
| <b>имеется</b>     | Увеличение индикативного плана (1) | Увеличение расхода по отстающему направлению (2) | Увеличение расхода по любому из направлений (3) |
| <b>отсутствует</b> | Завершение алгоритма (4)           | Перераспределение ресурсов по направлениям (5)   | Уменьшение индикативного плана (6)              |

Для решения данной задачи были применены алгоритмы нечеткой логики. На этапе фаззификации условия решения представляются в форме лингвистических термов с использованием комплекса следующих критериев оценки развития РСЭС. Критерий 1: степень достижения индикативного плана  $PD_i^i = \{PD_i^1, PD_i^2, \dots, PD_i^n\}$ , представляющая собой отношение достигнутого значения параметра  $Y_i^{f-i}$  и значения соответствующего элемента  $Y_i^{ld-i}$  (может принимать значения  $PD_i^i = \{\text{перевыполнен (pd), достигнут (d), не достигнут (nd)}\}$ ). Критерий 2: изменение темпа роста показателя  $TRP_i^i = \{TRP_i^1, TRP_i^2, \dots, TRP_i^n\}$ , характеризующее динамику  $i$ -го показателя в рассматриваемом периоде (может принимать значения  $TRP_i^i = \{\text{значительно повысился (mv), повысился (v), сохранился (s), снизился (n), значительно снизился (mn)}\}$ ). Критерий 3: соотношение темпа роста  $i$ -го показателя с темпами роста других показателей  $RPd_i^i = \{RPd_i^1, RPd_i^2, \dots, RPd_i^n\}$  (может принимать значения  $RPd_i^i = \{\text{существенно выше (mv), выше (v), сопоставимый (s), ниже (n), существенно ниже (mn)}\}$ ). Критерий 4: наличие других показателей с лучшими темпами роста. Рассчитанные таким образом значения критериев определяют нечеткое решение относительно изменений индикативного плана  $Resh_i^i = \{Resh_i^1, Resh_i^2, \dots, Resh_i^n\}$  (лингвистическая переменная может принимать значения  $Resh_i^i = \{\text{существенно снизить (mn), снизить (n), оставить текущее значение (s), повысить (v), существенно повысить (mv)}\}$ ). Для фаззификации полученных четких значений были использованы соответствующие функции принадлежности. На следующем этапе определены правила формирования решений. При композиции происходит объединение нечетких множеств и формирование нечеткого множества для выводимых лингвистических переменных. Вычисляется значение истинности каждого правила. На этапе дефаззификации определяется изменение  $Y_i^{ld}$  на основе нечеткого логического вывода.

Корректировка индикативного плана (решения 1, 6 в табл. 1) осуществляется после выполнения алгоритмов регулирования (решения 2, 3, 5) и направлена на адаптацию самого индикативного плана. В случае, если корректировка не требуется, данный этап расчётов считается завершённым (решение 4). Достижение индикативного плана  $Y_i^{ld}$  осуществляется посредством изменения значений управляемых параметров  $Reg_i^j$  в соответствии с

выделенными правилами. Ключевым принципом формирования значений управляющих параметров является выравнивание и максимизация степени достижения всех индикаторов ( $\min(Y_t^{f-i} / Y_t^{ld-i}) \rightarrow \max$ ). На каждом шаге моделирования возможна одна из следующих ситуаций, определяющих правила  $Ru_t^j$ .

1.  $(Y_t^{fi} \geq Y_t^{ldi}) \cap (\frac{Y_t^{fi}}{Y_t^{ldi}} = \frac{Y_t^{fi+1}}{Y_t^{ldi+1}}) \cap (Gr_t^s > 0) \rightarrow Y_t^{ldi} = Y_t^{ldi} + \lambda^j$ ;
2.  $(\frac{Y_t^{fi}}{Y_t^{ldi}} \neq \frac{Y_t^{fi+1}}{Y_t^{ldi+1}}) \cap (Gr_t^s > 0) \rightarrow \begin{cases} reg_t^{ij} = reg_t^{ij} + \lambda^j, \text{ если } \frac{Y_t^{fi}}{Y_t^{ldi}} = \min(\frac{Y_t^{fi}}{Y_t^{ldi}}) \\ reg_t^{ij} = reg_t^{ij}, \text{ если } \frac{Y_t^{fi}}{Y_t^{ldi}} \neq \min(\frac{Y_t^{fi}}{Y_t^{ldi}}) \end{cases}$ ;
3.  $(Y_t^{fi} < Y_t^{ldi}) \cap (\frac{Y_t^{fi}}{Y_t^{ldi}} = \frac{Y_t^{fi+1}}{Y_t^{ldi+1}}) \cap (Gr_t^s > 0) \rightarrow reg_t^{ij} = reg_t^{ij} + \lambda^j$ ;
4.  $(Y_t^{fi} \geq Y_t^{ldi}) \cap (\frac{Y_t^{fi}}{Y_t^{ldi}} = \frac{Y_t^{fi+1}}{Y_t^{ldi+1}}) \cap (Gr_t^s = 0) \rightarrow \begin{cases} t = t + 1, \text{ если } _t < T \\ \text{завершение алгоритма, если } _t = T \end{cases}$ ;
5.  $(\frac{Y_t^{fi}}{Y_t^{ldi}} \neq \frac{Y_t^{fi+1}}{Y_t^{ldi+1}}) \cap (Gr_t^s = 0) \rightarrow \begin{cases} reg_t^{ij} = reg_t^{ij} - \lambda^j, \text{ если } \frac{Y_t^{fi}}{Y_t^{ldi}} = \max(\frac{Y_t^{fi}}{Y_t^{ldi}}) \\ reg_t^{ij} = reg_t^{ij} + \lambda^j, \text{ если } \frac{Y_t^{fi}}{Y_t^{ldi}} = \min(\frac{Y_t^{fi}}{Y_t^{ldi}}) \end{cases}$ ;
6.  $(Y_t^{fi} < Y_t^{ldi}) \cap (\frac{Y_t^{fi}}{Y_t^{ldi}} = \frac{Y_t^{fi+1}}{Y_t^{ldi+1}}) \cap (Gr_t^s = 0) \rightarrow Y_t^{ldi} = Y_t^{ldi} - \lambda^j$ .

По итогам выполнения  $q$ -го шага итерационного алгоритма происходит либо перераспределение ресурса и подача нового управляющего воздействия на СЭС региона, либо возврат на уровень целеполагания.

В целях практического использования предложенного инструментария разработана методика обоснования стратегии социально-экономического развития региональной системы с применением АИМ. Интегрирование данного инструментария в процедуру разработки стратегии подразумевает, в частности, формирование на аналитическом этапе базового варианта прогноза при сохранении исходных значений вектора управляющих воздействий  $U_t$ . В рамках сценарно-целевого этапа осуществляется разработка сценариев развития ситуации, а также определение приоритетных направлений, формирование целей, индикативного плана развития региональной системы  $Y_t^{ld}$ , а также его корректировка в соответствии с предложенным ранее алгоритмом с учетом отклонения наблюдаемых значений  $Y_t^f$  и ресурсных возможностей системы управления. На регулятивном этапе

осуществляется формирование и корректировка вектора управляющих воздействий  $\{reg_t^{ij}\}$  и разработка комплекса мероприятий, направленных на его реализацию. Исходя из полученных результатов производится определение ресурсной базы стратегии РСЭР и оценка ожидаемого эффекта. Осуществляемая далее оценка параметров региональной системы базируется на проведении вычислительных экспериментов с разработанным комплексом моделей экономических агентов. Этап включает определение входных  $V_t^l$  и выходных  $Y_t^l$  координат экономических агентов ( $l = \overline{1,3}$ ), достижение динамического баланса спроса и предложения на рынке благ и рынке труда, мониторинг индикаторов  $Y_t^f$ , передача их значений на уровень управления. По завершении расчетов в каждом из  $t$ -ых периодов формируется прогноз параметров. Кроме выделенных этапов, АИМ предлагается задействовать в рамках мониторинга реализации стратегии [9] и на этапе корректировки, в рамках которой осуществляется пересмотр параметров системы и выполнение этапов, представленных выше.

В рамках проведенного исследования была рассмотрена возможность применения инструментария при обосновании параметров развития Республики Башкортостан на среднесрочную перспективу. Для настройки модельного инструментария и последующего моделирования использовались отчетные статистические данные о результатах РСЭР за период 2000–2013 гг. Полученные в результате моделирования значения индикаторов позволяют говорить о корректировке общего направления развития региональной системы в сторону балансировки интересов экономической и социальной сфер. По большинству показателей был отмечен рост, вызванный в большей степени инфляционной составляющей. Намечившееся изменение половозрастной структуры повлечет за собой снижение численности экономически активного населения, а также населения в репродуктивном возрасте. Следует отметить, что существенное изменение глобальной экономической ситуации (в частности, динамика стоимости нефти и курса валют) является фактором риска при реализации полученных прогнозных оценок [5].

Таким образом, разработанная схема построения адаптивно-динамической модели региона, включающая подмодели адаптивного поведения ЭА, управления и влияния макросреды, позволяет согласовывать интересы и стратегии базовых ЭА в процессе разработки и реализации среднесрочных программ регионального развития. Предложенный подход позволяет вырабатывать управляющие воздействия для достижения параметров индикативного плана в условиях взаимной адаптации частных целей ЭА и глобальных целей управляющей подсистемы с использованием методов нечеткой логики. Применение данной методики позволяет повысить эффективность стратегирования на региональном уровне.

## Список литературы

1. Гафарова Е.А. Имитационные модели комплексного регионального развития // Управление большими системами: сборник трудов. – 2013. – № 45. – С. 206-221.
2. Гатауллин Р.Ф., Гатауллин Р.Р., Гатауллина С.Р. Критерии и факторы устойчивого экономического развития // Вестник ВЭГУ. – 2009. – № 2. – С. 13-21.
3. Гизатуллин Х.Н., Ризванов Д.А. Проблемы управления сложными социально-экономическими системами. – М.: Экономика, 2005. – 218 с.
4. Гранберг А.Г., Суслов В.И., Суспицын С.А. Экономико-математические исследования многорегиональных систем // Регион: Экономика и Социология. – 2008. – № 2. – С. 120-150.
5. Инструментарий и технологии моделирования развития территориальных систем регионального и муниципального уровней: монография / под ред. д-ра экон. наук, проф. Д.А. Гайнанова. – Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2014. – 252 с.
6. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сулакшин С.С. Применение вычислимых моделей в государственном управлении. – М.: Научный эксперт, 2007. – 304 с.
7. Низамутдинов М.М. Имитационное моделирование как инструмент обоснования среднесрочных стратегий регионального развития // Экономика и управление. – 2009. – № 5. – С. 104-111.
8. Тарасова Н.А., Васильева И.А., Сушко Е.Д. Анализ параметров социальной политики на основе прогнозирования показателей финансирования социальной сферы // Проблемы прогнозирования. – 2009. – № 5. – С.51-65.
9. Фатхутдинова Л.Р. Прогнозирование развития экономической системы с использованием адаптивных моделей // Человек. Сообщество. Управление. Взгляд молодого исследователя. – 2012. – С.49-54.

### Рецензенты:

Гизатуллин Х.Н., д.э.н., профессор, ФГБУН ИСЭИ УНЦ РАН, г. Уфа;

Гатауллин Р.Ф., д.э.н., профессор, заведующий сектором экономики и управления развитием территорий ФГБУН ИСЭИ УНЦ РАН, г. Уфа.