

DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.25.45

# Разработка и апробация инструментария стратегического планирования территориального развития на основе интеллектуальной адаптивной имитационной модели\*

**М.М. Низамутдинов** 

E-mail: marsel\_n@mail.ru

**В.В. Орешников** 

E-mail: voresh@mail.ru

**З.А. Давлетова** 

E-mail: davletova11@mail.ru

Институт социально-экономических исследований Уфимского федерального исследовательского центра  
Российской академии наук, Уфа, Россия

## Аннотация

Управление стратегическим развитием регионов России является сложной задачей, решение которой связано с комплексом сложностей как методологического, так и методического характера. В частности, наблюдается низкое качество формируемых прогнозных оценок по основным рассматриваемым параметрам. Несмотря на наличие исследований в данной области и нормативной правовой базы, документы стратегического планирования в России зачастую не увязаны друг с другом, неоднократно пересматриваются в ходе реализации и, в конечном счете, не реализуются в полной мере. Во многом это связано с тем, что имеющийся научный потенциал не используется в полной мере, в том числе в области разработки соответствующих информационных систем. Цель исследования заключается в разработке инструментария поддержки принятия решений при стратегическом планировании развития региона. В качестве основных методов исследования используются агент-ориентированное моделирование, адаптивное управление, интеллектуальный анализ данных, сценарное моделирование. В ходе исследования предложена концепция формирования инструментария, основывающаяся на

\* Статья опубликована при поддержке Программы НИУ ВШЭ «Университетское партнерство»

построении интеллектуальной адаптивной имитационной модели (ИАИМ) с учетом теории стратегического планирования и возможностей обработки разнородных данных. Предложенная структура ИАИМ включает в себя четыре взаимосвязанных иерархических уровня – интеллектуальные агенты, макропроцессы, система управления и внешняя среда. Особое внимание уделено разработке модели адаптивного поведения интеллектуального агента. Предлагаемый подход к реализации позволит охватить весь комплекс задач – от анализа входных данных до разработки управленческих решений. Программная реализация разработанной модели осуществлена с использованием инструментария AnyLogic.

**Ключевые слова:** стратегическое планирование, территориальные социально-экономические системы, имитационная модель, адаптивное управление, интеллектуальный анализ, система поддержки принятия решений, агент-ориентированный подход

**Цитирование:** Низамутдинов М.М., Орешников В.В., Давлетова З.А. Разработка и апробация инструментария стратегического планирования территориального развития на основе интеллектуальной адаптивной имитационной модели // Бизнес-информатика. 2024. Т. 18. № 4. С. 25–45.

DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.25.45

## Введение

Основой принятия любого решения в области управления развитием территориальных социально-экономических систем является четкое научно обоснованное представление о том, как его реализация отразится на изменении значений всех ключевых показателей, характеризующих данную систему. Тем самым актуализируются функции прогнозирования и планирования как составные элементы системы управления. При этом формирование прогнозов развития на долгосрочную перспективу требует от лица принимающего решения объема знаний, исходной информации и опыта в значительно большей степени по сравнению с решением вопросов оперативного управления [1]. Именно стратегическое управление и разработка стратегий регионального развития нуждаются в соответствующем инструментарии информационной поддержки [2]. Следует отметить, что в данном направлении имеются существенные разработки применительно к производственным предприятиям [3].

В данных условиях актуализируются проблемы выработки подходов, методов и инструментов прогнозирования и стратегического планирования в области развития субъектов Российской Федерации,

учитывающих указанные вызовы. Вместе с тем, на сегодняшний день в этой сфере есть ряд сложностей [4–7], связанных с несогласованностью и противоречивостью целей, обозначенных в документах стратегического развития, недостаточным использованием управленческой информации, уровнем подготовки кадров. Также значительное влияние оказывает фактический приоритет вопросов тактического уровня на фоне низкой проработки стратегического управления регионом. В итоге получаемые прогнозные оценки и принятые решения зачастую требуют пересмотра и корректировки.

Во многом это связано с наличием методологических проблем в стратегическом планировании и управлении, которые основываются на сложном комплексе межведомственных согласований. Сегодня эта проблема не решена даже на высшем уровне. Представление Министерством экономического развития России обновленной Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации до 2023 г., намеченное на 14 мая 2021 г., так и не состоялось. Фактически было объявлено о переходе к разработке некоего широкого перечня «новых инициатив». Одной из причин подобной ситуации является жесткая критика проекта Стратегии со стороны ученых-экономистов, которые пришли к выводу, что этот документ «продолжает традицию регуля-

но нарушаемых планов». Аналогичным образом в ежегодном отчете Счетной палаты РФ указывается, что «система стратегического планирования в настоящее время разбалансирована и неэффективна, недостаточно методически обеспечена, с низким уровнем контроля и исполнительской дисциплины, система стратегического планирования отсутствует, цели органов власти не увязываются между собой и с требованиями Президента РФ и не стыкуются с проектной деятельностью Правительства РФ, определяются формально, а их достижение не контролируется» [8]. Еще в 2017 году представитель Министерства экономического развития РФ отмечал разногласия в документах стратегического планирования, в частности различия в наименования одинаковых показателей, несогласованность значений целевых индикаторов, отсутствие сбалансированности и согласованности внутри документов, а также отсутствие навыков работы с такими данными. Среди основных задач отмечалось создание к 2020 году цифровой платформы, позволяющей автоматизировать процесс стратегического планирования с момента принятия решения о разработке документа до его завершения и оценки результативности. Для достижения данной задачи предполагалось использование больших данных, методов имитационного моделирования, искусственного интеллекта, облачных технологий [9].

Многие другие эксперты также отмечают, что действующие в России документы стратегического планирования разных уровней (их порядка 54 тыс. единиц) хотя и разрабатывались на базе ФЗ №172 «О стратегическом планировании в Российской Федерации», но никак не увязаны друг с другом [10–12]. Фактически учеными и специалистами уже открыто констатируется, что в сложившихся условиях стратегический уровень оказывается подчиненным оперативным и тактическим задачам, что принципиально противоречит логике формирования любой эффективной системы управления.

Высокие риски и затраты, связанные с принятием неправильных и неэффективных решений, требуют тщательного рассмотрения и оценки возможных альтернативных вариантов [13]. Важную роль играет доступность и достоверность информации.

Цель исследования заключается в разработке инструментария поддержки принятия решений при стратегическом планировании развития региона. Требуется интегрировать модели управления, технологии обработки знаний и средства моделиро-

вания в едином информационном поле, а также предложить методики их встраивания в имеющуюся систему планирования. На этом этапе предполагается создание методологии и концепции информационной поддержки процессов стратегического планирования социально-экономического развития систем макро- и мезоуровня на базе системной интеграции адаптивных моделей управления, технологий интеллектуальной обработки знаний и имитационного моделирования.

В качестве инструментальной среды имитационного моделирования предложена система AnyLogic. Данный программное решение имеет ряд неоспоримых преимуществ: является профессиональным инструментом для агентного моделирования, интегрирован с ГИС-картами, обладает широкими возможностями для анимации и визуализации, способен обрабатывать большие данные в качестве входной информации для модели. Отличительной особенностью системы AnyLogic является также возможность комбинирования различных парадигм моделирования, например, в агент-ориентированных моделях могут быть применены методы системной динамики. Эксперименты на базе имитационных моделей, построенных в AnyLogic, позволяют проводить сценарные расчеты и оптимизировать планирование ресурсов.

### **1. Концепция исследования и разработки интеллектуальной адаптивной имитационной модели**

Инструментарий поддержки принятия решений (ППР) при разработке стратегии развития субъектов России в первую очередь основывается на понимании тех задач, которые будут решаться с его использованием. Для этого должен быть определен спектр решений, требующих обоснования. При этом разработка стратегии регионального развития является не целью, а механизмом для достижения целей регионального развития. То есть более общие цели определяют частные цели. Таким образом, проведя анализ целей разработки стратегии регионального развития как документа и ее структуры, нами был сделан вывод о том, что конечной целью работы инструментария ППР должен быть научно обоснованный комплекс значений управляемых параметров. Вместе с тем, при использовании разрабатываемого инструментария, на наш взгляд, могут решаться и другие сопутствующие этому задачи, включая:

1. Оценка наблюдаемого и ретроспективного состояния региональной системы, выявление ее сильных и слабых сторон, анализ и мониторинг показателей.
2. Разработка сценарного прогноза развития, включая базовый сценарий в текущих условиях, анализ возможных результатов реализации тех или иных мер стратегического управления.
3. Определение значения управляемых параметров, необходимых для достижения того или иного заданного значения целевого параметра в условиях заданных ограничений, решение задач планирования.
4. Определение комплекса рекомендуемых мероприятий в рамках задачи поддержки принятия решения.

Исходя из этого и определяются требования к инструментарию поддержки принятия решений [14]. В управлении региональным развитием можно достаточно условно выделить два уровня – оперативное и стратегическое управление. В первом случае целью является устранение текущих проблем, в частности, связанных с необходимостью достижения отдельных элементов стратегических целей. В свою очередь, стратегическое управление устанавливает приоритеты развития региональной социально-экономической системы (РСЭС), ключевые параме-

тры, а также цели для оперативного уровня. Таким образом, на параметры развития региона влияют управляющие параметры – результаты деятельности субъектов управления. В дополнение к этому, на динамику параметров РСЭС воздействуют процессы, происходящие как в самой системе, так и во внешней среде.

Следует уточнить, что в рамках проводимого исследования под интеллектуальностью в интеллектуальной адаптивной имитационной модели (ИАИМ) нами понималась способность работать со знаниями, слабо структурированной информацией за счет наличия соответствующих компонент (базы знаний, базы правил, применения методов нечеткой логики и т.д.) в дополнение к возможностям имитационных моделей, построенных на основе общепринятых подходов. В то же время, адаптивность – реализуется через алгоритмы поведения, минимизирующие ошибки планирования за счет поэтапной корректировки стратегий экономических агентов [15].

Ядром инструментария выступает экономико-математическая модель РСЭС (рис. 1). При этом, как было показано выше, динамика региональных социально-экономических процессов определяется совокупностью решений, принимаемых отдельными агентами, обладающими свойствами адаптивности, способными воспринимать инфор-

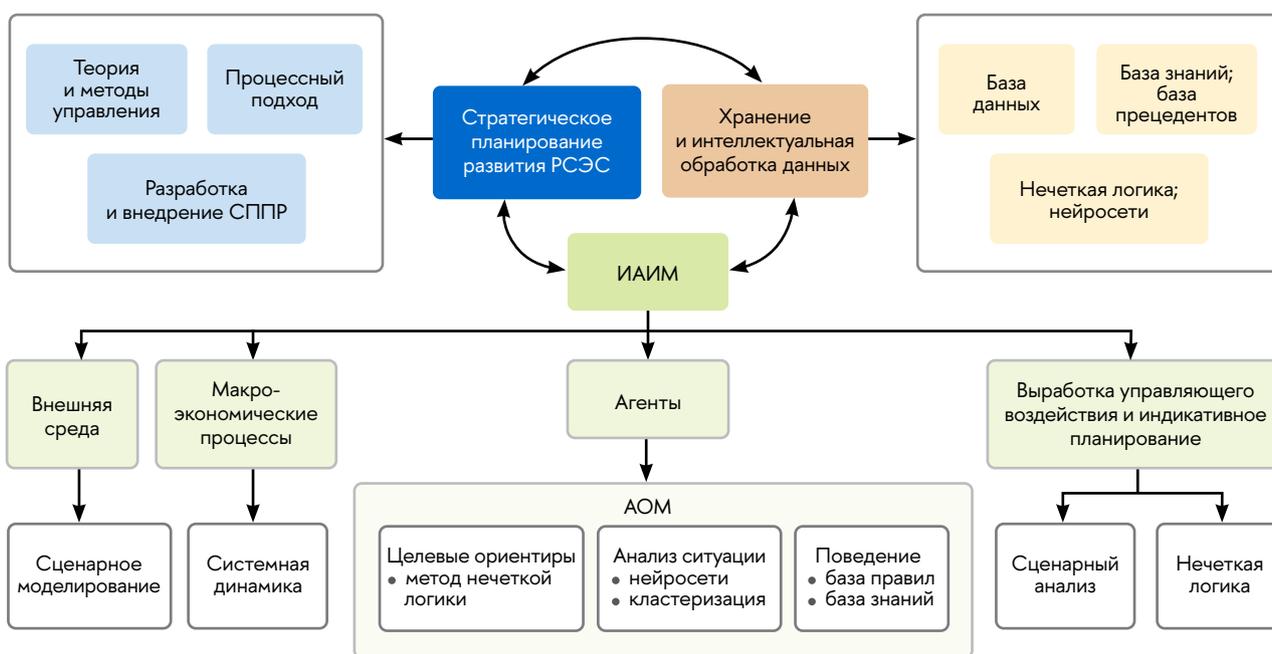


Рис. 1. Концепция исследования и разработки инструментария.

мацию, обрабатывать ее и формировать на ее базе логически обоснованные решения, то есть проявлять интеллектуальные функции. В связи с этим, в основе разрабатываемой модели предлагается использовать агент-ориентированный подход.

В рамках построения экономико-математических моделей развития РСЭС, основанных на принципах агентного моделирования, все агенты должны быть описаны через совокупность количественных показателей развития и механизмы, применяемые для их достижения. Разработка данных механизмов является одной из наиболее сложных задач, так как они описывают поведение агента в части принятия решений. Данные действия базируются на работе с информацией: получение, хранение, обработка и использование. Взаимодействие с внешней средой также представляет собой обмен информацией, то есть значениями некоторых параметров.

На наш взгляд, именно наличие возможности формирования логически обоснованных выводов и адаптации агента за счет его обучения позволяет получить наиболее адекватную модель реальной РСЭС. В связи с этим, предлагается разработка ИАИМ.

Вместе с тем, очевидно, что для описания многих макроэкономических процессов более логичным представляется использование методов, не требующих описания поведения отдельных агентов, то есть с более высоким уровнем агрегирования [16]. В связи с этим, часть макроэкономических процессов имеет смысл отражать с использованием методов динамического моделирования и иных методов. Подобное сочетание различных подходов оптимизирует затраты на разработку и функционирование модели социально-экономической системы.

Новизна постановки задачи и предлагаемой концепции исследования, на наш взгляд, заключается в оценке возможности применения класса адаптивных моделей управления [17] и методов интеллектуальной обработки знаний, широко используемых в теории принятия решений в сложных человеко-машинных системах, для формализации ограниченно-рациональной логики поведения экономических агентов регионального уровня при реализации стратегии их развития в условиях конкурентной рыночной среды.

В теоретическом аспекте отличительной особенностью предлагаемого подхода является рассмотрение региона не с позиции макроэкономики, в рамках которой агрегированные процессы не позволяют увидеть вклад отдельных их составляющих, а с пози-

ции баланса представления макро- и микро-уровней, что находит свое отражение как в методологии управления развитием объекта, так и в одновременном использовании двух парадигм имитационного моделирования – системной динамики и агент-ориентированного подхода для решения соответствующих задач. В этом проявляется направленность предлагаемого исследования на интеграцию знаний об объекте исследования, требующей для изучения отдельных ее элементов специфических методов и подходов.

В инструментальном аспекте оригинальность предлагаемой модели организации информационной поддержки, на наш взгляд, состоит в логико-иерархической композиции в единой информационной среде множества поведенческих, агент-ориентированных и управленческих моделей, что позволяет, в отличие от ранее разработанных подходов, формировать стратегии развития региональных систем, согласованные по уровням иерархии и разработанные с учетом целей и интересов агентов и стратегических планов развития региона в целом.

## 2. Структура интеллектуальной адаптивной имитационной модели

Представленный подход основывается на применении формализованных методов анализа, прогнозирования и планирования. Разработка соответствующего инструментария предполагает в первую очередь формирование его ядра – интеллектуальной адаптивной имитационной модели. Для ее описания, на наш взгляд, требуется определить структуру модели, а также методическую и информационную основы формирования. Общая структура ИАИМ представлена на *рис. 2*.

Модель РСЭС включает в себя несколько уровней.

1. Уровень интеллектуальных агентов, отражающих функционирование отдельных агентов и малых социальных групп. Каждый из них имеет собственные интересы, которые во многом обуславливаются ситуацией, в которой он находится. В рамках модели агент осуществляет сравнение параметров данной ситуации с ожидаемыми характеристиками и на основе этого принимает решения. Для моделирования процедуры анализа и классификации ситуации предлагается применять нейросетевые технологии и методы, позволяющие не только делать выбор между уже известными вариантами, но и идентифи-

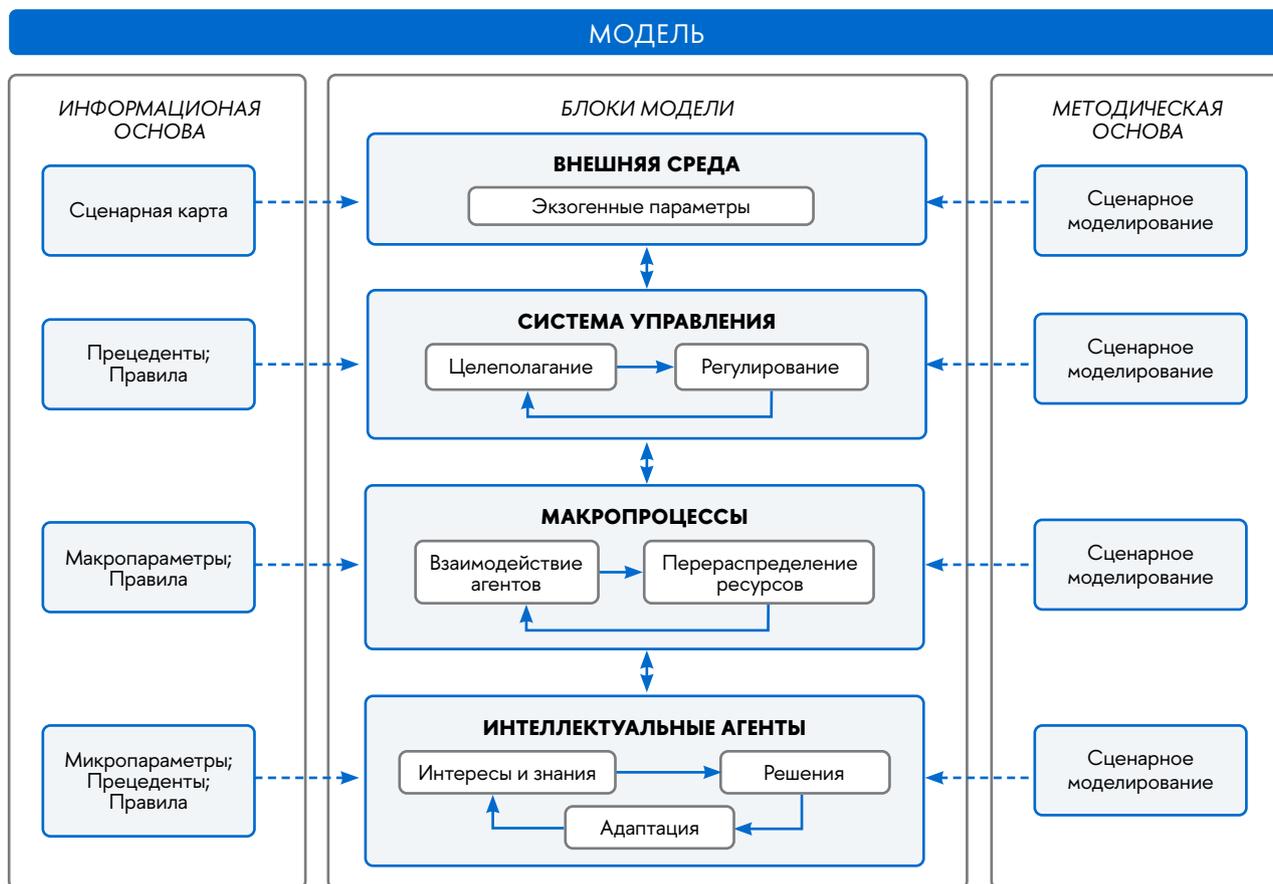


Рис. 2. Структура интеллектуальной адаптивной имитационной модели.

цировать принадлежность ранее неизвестных ситуаций [18]. При этом принятие решений может основываться как на использовании правил (в случае четко обозначенных требований к действиям агента), так и на базе прецедентов (в случае, если правило отсутствует и имеется множество известных вариантов действия). В случае, если ситуация носит принципиально новый характер, требуется разработка нового решения, что также является проявлением свойства интеллектуальности агента. При этом описание его поведения базируется на теории ограниченной рациональности [19], в рамках которой принимаемые решения не обязательно будут носить оптимальный характер. Реализация каждого из решений и оценка последствий приводят к расширению и корректировке его базы знаний и базы прецедентов, то есть происходит адаптивное обучение агента. Благодаря этому, с появлением новых прецедентов следующие решения могут приниматься по новым правилам. В целом функционирование и

развитие агента описывается в рамках методологии агент-ориентированного моделирования (АОМ), использование которой применительно к сложным социально-экономическим системам рассматривается в работах ряда авторов [20, 21].

2. Взаимодействие множества отдельных агентов порождает макроэкономические процессы. На данном уровне агрегирования рассмотрение каждого агента в отдельности становится излишне затратным. В связи с этим рассматривается комплекс макроэкономических агентов. Соотношение запасов различных ресурсов данных агентов формирует структурную модель экономики. При этом ресурсы могут переходить от одного агента к другому и преобразовываться. Все это предлагается описывать с применением методов системной динамики. При взаимодействии каждый из агентов имеет собственные интересы. Взаимодействие в рыночных условиях возможно лишь, если интересы согласованы.

3. Система управления является настройкой над моделью региона и служит для установления целевых индикаторов и регуляторов. Если фактические значения индикаторов не соответствуют установленным ранее значениям, то в первую очередь осуществляется корректировка регуляторов. Однако в если это не дало ожидаемого эффекта при имеющихся ограничениях, то осуществляется корректировка значения целевых индикаторов. При этом выбор решения (по изменению значений регуляторов или целевых индикаторов) базируется на анализе ситуации и адаптивном управлении.

4. Существенное влияние на развитие региональной системы оказывает внешняя среда, которая описывается комплексом экзогенных параметров. В рамках данного исследования они являются независимыми от процессов, протекающих в рамках РСЭС. Значения экзогенных параметров задаются при помощи сценарных карт.

Таким образом, структура интеллектуальной адаптивной имитационной модели описывает совокупность социально-экономических отношений, реализуемых на различных уровнях в наиболее обобщенном виде. При этом ее основой является функционирование интеллектуальных агентов.

### 3. Модель адаптивного поведения интеллектуального агента

Поведение интеллектуального агента описывается в рамках разрабатываемой модели через принятие им решений, направленных на удовлетворение собственных интересов в сложившихся условиях функционирования с учетом имеющихся знаний (правил, прецедентов, известных ситуаций и решений), а также возможности адаптации агента. Принятое и реализованное решение определяет изменение параметров агента и оказывает влияние на характеристики внешней среды. Как указано выше, агент функционирует в условиях неполной и противоречивой информации. Его действия могут быть описаны теорией ограниченной рациональности. Данная концепция в классическом смысле характеризует положение, при котором человек учитывает небольшое число вариантов, различающихся в существенной степени, и выбирает наиболее близкий к его устремлениям вариант, что не гарантирует максимизацию полезности [22, 23]. В рамках предлагаемой модели данная ситуация может быть представлена комплексом возможных решений агента, реализуемых с некоторой

вероятностью. Основываясь на предыдущем опыте и имеющихся знаниях, агент выбирает удовлетворяющее его решение, что не говорит об оптимальности сделанного выбора, т.е. рассмотрении всей возможной совокупности решений.

Исходя из данных предпосылок, в рамках проведенного исследования была разработана модель принятия решения агента (рис. 3), основанная на применении комплекса методов агент-ориентированного моделирования, классификации ситуации, теории ограниченной рациональности, применении баз правил и прецедентов, анализа данных и др.

Совокупность информации определяет ситуацию, в которой находится агент. Идентификация ситуации заключается в отнесении ее к какому-либо известному классу или, при необходимости, выделении нового класса. Множество известных агенту ситуаций образует часть базы знаний агента – «Базу ситуаций». Другой ее частью является «База решений», содержащая информацию о том, какие действия агент может совершить (перечень управляемых параметров и их характеристики).

Функционирование интеллектуального агента представляет собой совокупность принимаемых им решений  $Rh = \{Rh_t^1, Rh_t^2, \dots, Rh_t^n\}$  исходя из сложившегося в момент времени  $t$  класса ситуации  $K = \{K_t^1, K_t^2, \dots, K_t^n\}$ .

Выбор варианта решения осуществляется исходя из имеющегося в распоряжении агента правил и прецедентов, содержащихся соответственно в «Базе правил» и «Базе прецедентов». Именно они описывают, какие именно действие и с какой вероятностью выбирает агент в той или иной ситуации. Обращение к данным базам позволяет не только соотносить наблюдаемые условия и решения, но и определить предполагаемые последствия от их реализации (ожидания). При этом действия, которые не могут быть выполнены (нет условий для их выполнения) имеют нулевую вероятность выбора, то есть фактически исключаются из перечня возможных решений агента.

База правил включает в себя условия  $U = \{U_t^1, U_t^2, \dots, U_t^n\}$ , решения и ожидаемые результаты  $Rz_r = \{Rz_r^1, Rz_r^2, \dots, Rz_r^n\}$  и отписывается кортежем элементов  $Ru = \langle U, Rh, Rz_r \rangle$ . В свою очередь, база прецедентов содержит решения  $Rh_b = \{Rh_b^1, Rh_b^2, \dots, Rh_b^n\}$ , принимавшиеся в той или иной ситуации, наблюдавшейся ранее,  $K_b = \{K_b^1, K_b^2, \dots, K_b^n\}$ , а также информацию о наблюдавшихся ранее результатах  $Rz_b = \{Rz_b^1,$

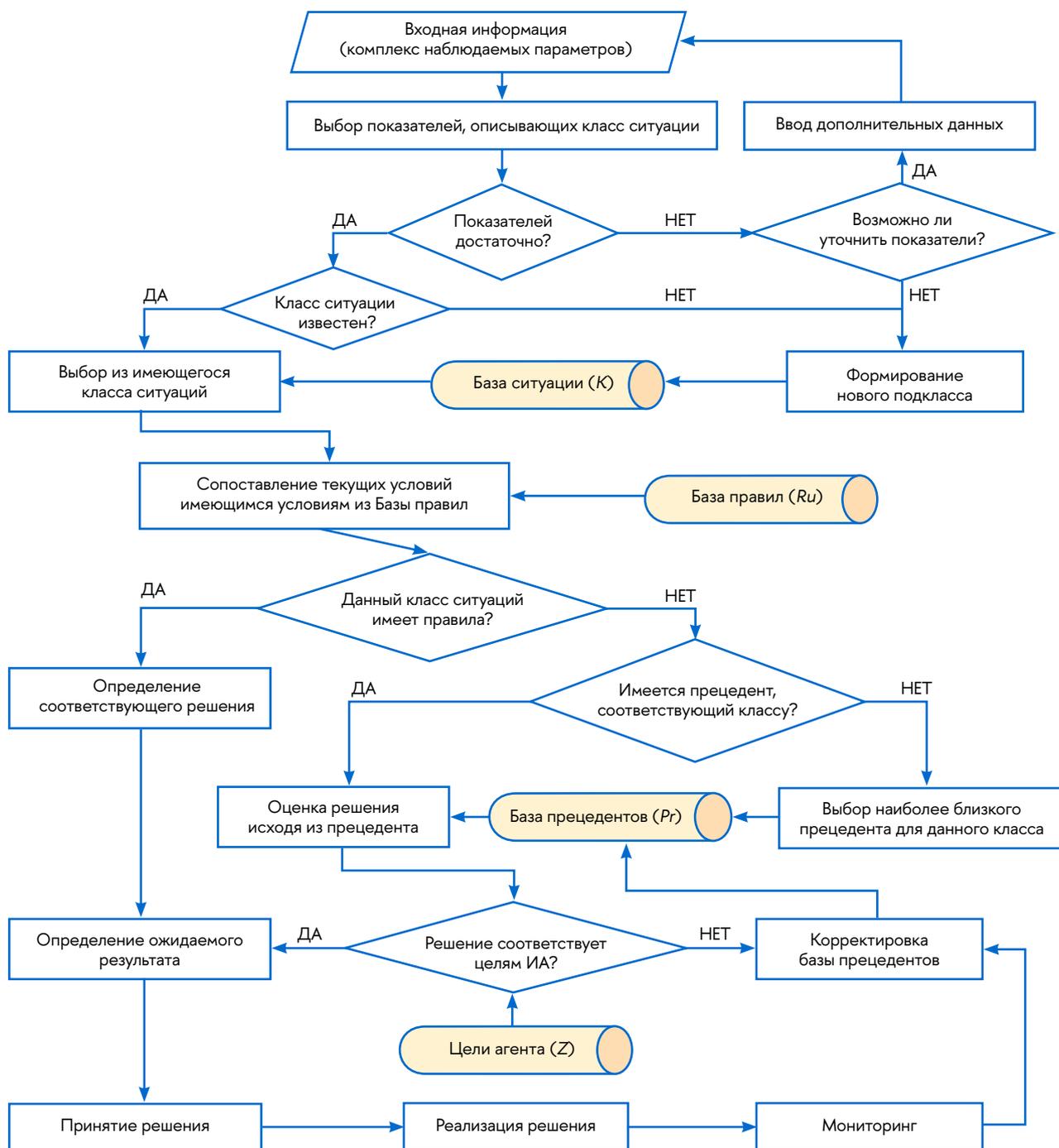


Рис. 3. Модель принятия решения интеллектуальным агентом.

$Rz_{b_i^2}, \dots, Rz_{b_i^n}$ . База прецедентов описывается кортежем элементов  $Pr = \langle K_b, Rh_b, Rz_r \rangle$ .

Прецедент – это случай или событие, имевшее место в прошлом и служащее примером или основанием для последующих действий в настоящем [24]. Исходя из этого, прецеденты – это отражение

опыта агента и его знаний о взаимосвязи событий и явлений. Результатом является перечень показателей, которые изменили свое значение после реализации действия и ассоциируются у агента с последствиями данного действия, а также значение изменений этих показателей.

Приоритет в данном случае отдается использованию базы правил, поскольку она содержит в себе более строгие требования к определению решения, закладываемые в нормативной форме или в результате многократного повторения прецедентов. При этом, база правил не является неизменной. Она может пополняться и корректироваться.

Использование базы прецедентов предполагает обращение к ней и поиск ситуации наиболее схожей с текущей. Для этого параметры текущей ситуации сравниваются с существовавшими условиями известных прецедентов. Следует отметить, что поиск прецедента осуществляется не по отдельному показателю, а по всей совокупности показателей, формирующих ситуацию. В данном случае, речь идет о рассуждениях на основе прецедентов, которые в широком смысле являются методом решения новых проблем на основе уже известных решений. Рассуждения на основе известных ситуаций являются частным случаем рассуждений по аналогии.

Говоря об идентификации ситуации, следует понимать, что агенту необходимо не только определить ее положение среди множества других вариантов развития ситуации в данной области, но и определить насколько она ему знакома. Так, если агент ранее сталкивался с ней, то данную ситуацию можно назвать известной и рассматривать для нее известные решения. В противном случае, у агента нет опыта поведения в данной ситуации, а решение может быть принято на основе наиболее близкого из известных.

Таким образом, интеллектуальный агент, анализируя сложившуюся ситуацию, производит сравнение фактических условий  $U_f$  с условиями, содержащимися в базе правил  $U_b$ , и в случае обнаружения совпадения применяет соответствующее правило  $R_h$ . При отсутствии правила рассматриваются имеющиеся прецеденты и среди них выявляется наиболее совпадающий по фактической и ранее наблюдавшейся ситуации.

Одним из основных свойств агента является наличие у него целевых установок. Под целевыми установками агента в рамках данного исследования понимается комплекс представлений агента о том, какие параметры являются значимыми индикаторами и какое из направлений изменений значений индикаторов его развития является более предпочтительными, а также каково соотношение значимости целевых индикаторов между собой. Таким образом, в части формирования целевых ориентиров агента можно выделить три принципиальных вопроса:

1. Что является целевыми ориентирами для данного агента, т.е. состав параметров, которые отнесены к целевым индикаторам?
2. Каково желаемое значение целевых ориентиров агента, т.е. некое количественное измерение данных целевых индикаторов?
3. Как соотносятся между собой значимости тех или иных целей агента?

Важнейшие ориентиры развития общества определены в Указе о национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года. Исходя из них, можно выделить ряд показателей для количественной оценки функционирования экономических агентов, включая следующие:

- ♦ повышение суммарного коэффициента рождаемости;
- ♦ увеличение ожидаемой продолжительности жизни;
- ♦ снижение уровня бедности;
- ♦ обеспечение граждан жильем;
- ♦ обеспечение темпа роста валового внутреннего продукта страны выше среднемирового;
- ♦ увеличение объема инвестиций в основной капитал;
- ♦ обеспечение устойчивого роста доходов населения и т.д.

Как можно заметить, несмотря на то что сами показатели являются количественно измеримыми, целевые установки носят качественные характеристики. Данный факт позволяет отразить более адекватно поведение реальных людей, чьи целевые установки могут быть описаны как «увеличение денежных доходов», «повышение уровня экологической безопасности мест проживания» и т.д., а соотношение важности между ними описывается понятиями «существенно важнее», «несколько более важнее» и т.д. То есть речь идет о применении показателей, описываемых с использованием методов нечеткой логики. Пример совмещения данного подхода и агент-ориентированного моделирования имеется в публикации [25].

Реализация установленных целей агента осуществляется через выбор решений, направленных на изменение управляемых параметров в определенных условиях, формирующих ситуацию, с которой сталкивается агент. Анализируя сложившиеся условия, агент определяет, к какому из известных классов относится та или иная ситуация. Для этого ему требуется иметь соответствующую базу зна-

ний, включающую описание ситуаций, и инструмент для их идентификации и классификации. Для определения класса ситуации предлагается использовать методы кластеризации.

Поведение экономического агента в значительной степени обуславливается тем, какой информацией он обладает. Можно выделить следующие источники получения информации: 1) информация из внешней среды, параметры которой не зависели от самого агента; 2) информация, которая была сформирована при взаимодействии агента с внешней средой; 3) информация, характеризующая самого агента, получение которой не требует взаимодействия с иными агентами или внешней средой.

Говоря о множестве параметров, характеризующих самого агента, следует отметить, что в данную группу показателей входят и ресурсы, которыми обладает агент. В этом смысле прослеживается взаимосвязь между ресурсами и управляемыми параметрами агента. Фактически, поведение агента представляет собой изменение им значений данных параметров. В рамках формирования экономико-математической модели, информация о перечне данных показателей и их характеристики содержатся в базе решений агента. Следует подчеркнуть, что в широком смысле, перечень данных показателей не только не одинаков даже для агентов одного типа, но и не постоянен во времени. Если рассматривать агента «Человек», то перечень управляемых параметров и возможности по изменению их значений зависят от возраста, социального статуса, места проживания и т.д. Однако с точки зрения решения практических вопросов моделирования, представляется целесообразным установить общий перечень управляемых параметров для всех агентов одного типа, но определив для каждого из них различные возможности корректировки его значений. Более сложным в плане формализации, на наш взгляд, является проблема появления принципиально новых управляемых параметров в результате изменения внешних условий, научно-технического прогресса и творческой деятельности человека. Следует отметить, что перечень управляемых параметров в существенной степени зависит от уровня детализации модели и общей ее направленности на решение тех или иных задач.

На основе представленной обобщенной схемы была проведена формализация поведения каждого из рассматриваемых агентов.

Функционирование экономического агента «Человек» является многоаспектным. Принимаемые им решения затрагивают вопросы во всех сферах жизнедеятельности и в зависимости от выбранной степени детализации могут включать как стратегические вопросы (например, место жительства, смена рода деятельности, выбор направления подготовки в вузе и т.д.), так и бытовые вопросы, решение которых отнесено к оперативному уровню и зачастую носит «механический» характер.

Для данного экономического агента в рамках проведенного исследования предлагается рассматривать принятие решения по трем аспектам:

- ◆ смена места жительства (миграция);
- ◆ формирование доходов;
- ◆ формирование расходов.

Рассмотрим второй вопрос более подробно, поскольку во многом его решение определяет параметры ситуации для других (рис. 4).

Адаптация экономического агента к изменению ситуации заключается в изменении правил его поведения в зависимости от тех или иных условий.

Ключевой целью агента по данному направлению является получение дохода не ниже ожидаемого. При этом следует подчеркнуть, что в данном случае, как было упомянуто ранее, речь идет не о максимизации значений параметра, а об удовлетворении некоторого заданного уровня.

Из множества характеристик агента «Человек» требуется выделить значимые с точки зрения решения данной задачи. При этом характеристики могут быть выбраны из различных групп – Демографические показатели (пол, возраст), Образование (уровень образования, направление подготовки), Работа (стаж, опыт предпринимательской деятельности, текущий статус профессиональной деятельности), Финансы населения (текущий и ретроспективный уровень дохода). С другой стороны, на решение агента влияет состояние среды, в которой он находится, включая характеристики рассматриваемых видов экономической деятельности с точки зрения потенциального работника (уровень оплаты труда, наличие вакансий) и с точки зрения предпринимателя (уровень конкуренции и наличие спроса на продукцию ВЭД). Сочетание данных характеристик определяет те или иные ситуации, выделение которых предполагается производить методом кластерного анализа. Учитывая множество возможных значений ука-

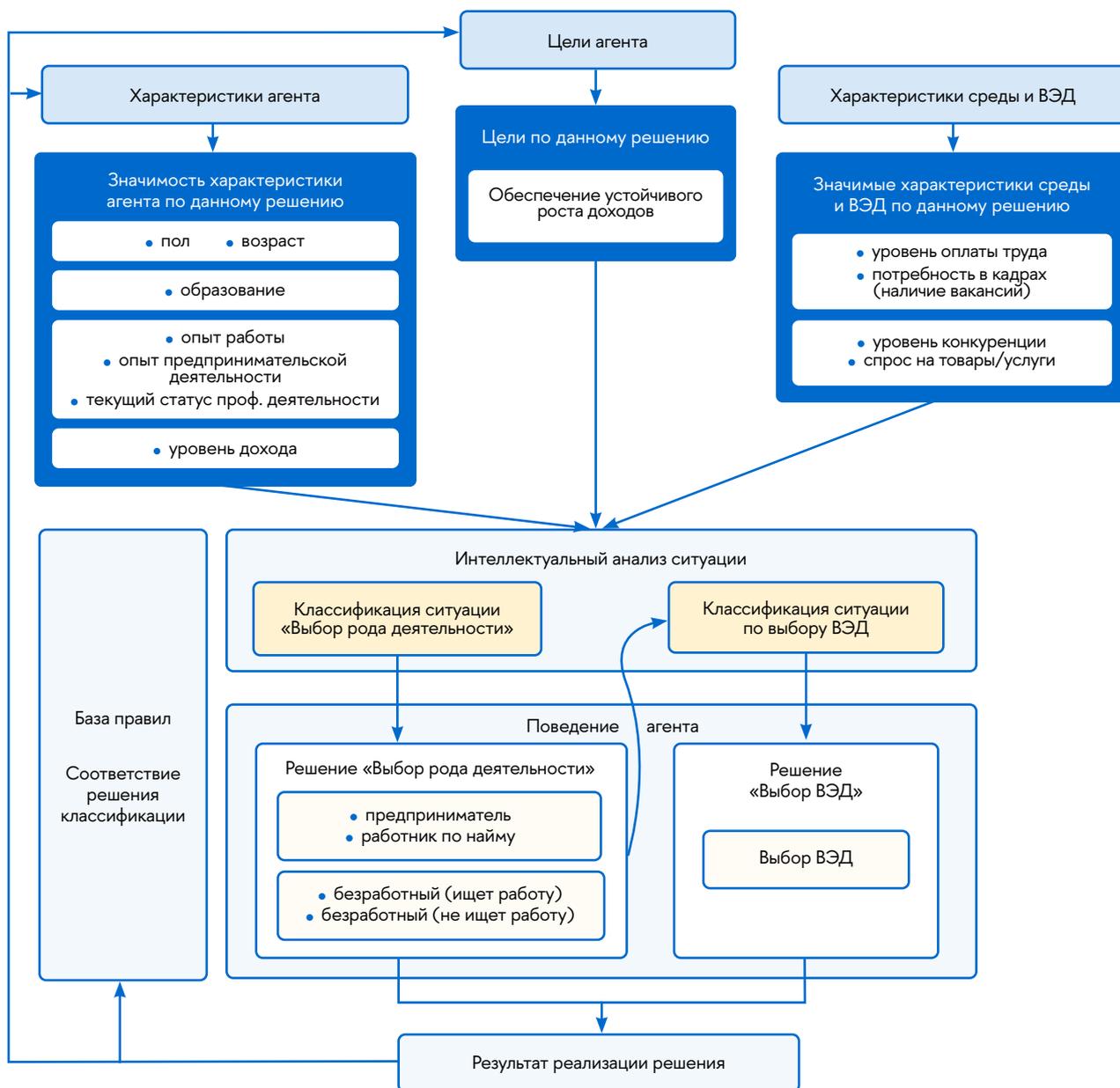


Рис. 4. Формирование доходов агента «Человек».

занных характеристик, заранее определить точное количество и параметры каждой ситуации не представляется возможным, однако очевидно, что решение, принимаемое молодым специалистом без опыта предпринимательской деятельности в условиях спада экономики и избытком кадров на рынке труда будет существенно отличаться от решения предпринимателя с опытом работы на рынке, на котором наблюдается рост спроса. При этом различия в решениях обусловленные не только различием значений факторов, но и прави-

лами, применяемыми агентами. Поскольку установление детерминированных взаимосвязей между условиями и решениями в данном случае не представляется возможным (в том числе в силу невозможности полной формализации условий и их количественной оценки, а также однозначного отнесения наблюдаемого сочетания условий к тому или иному классу ситуаций), то выбор решения представляется целесообразным осуществлять с применением интеллектуальных алгоритмов, в том числе на основе методов нечеткой логики.

Данные правила могут трансформироваться в результате получаемого опыта в ходе реализации ранее принятых решений. Более того, этот опыт может приводить к изменению целевых установок агента. Данная процедура реализует не только возможность адаптации экономического агента к изменению условий, но и адаптацию правил поведения самого агента.

В отношении остальных экономических агентов и решений процедура выбора решений представляется целесообразным формализовать аналогичным образом.

Вместе с тем, расчет других параметров функционирования экономического агента «Человек» реализуется в рамках комплекса уравнений, представленных ниже.

Одной из ключевых подсистем модели выступает демографический блок, включающий описание движения населения. Эти процессы ведут к изменению численности групп. В модельном инструментарии применяется метод передвижки возрастов. Учет гендерного аспекта повышает адекватность отражения процессов. В исследование включено  $N$  половозрастных групп:  $\forall n, n = 1; N$ .

$$P_t^n = P_{(t-1)}^{(n-1)} + B_t^n - D_t^n + M_t^n,$$

где  $P_t^n$  – численность населения;

$B_t^n$  – численность родившихся (для первой возрастной группы);

$D_t^n$  – численность умерших;

$M_t^n$  – сальдо миграционных потоков.

Число родившихся в  $t$ -м году рассчитывается исходя из коэффициента рождаемости  $kB_t$  по формуле:

$$B_t^n = kB_t \cdot P_t \cdot k_{m/w}$$

где  $k_{m/w}$  – коэффициент распределения по гендерному признаку.

Следует принимать во внимание, что уровень рождаемости зависит от совокупности разнородных факторов, среди них выделяют численность женщин в фертильном возрасте, уровень брачности, уровень доходов населения, обеспеченность населения жильем.

Значения данных факторов определяется исходя из логики формирования модели. Например, величина заработной платы, как элемент уровня доходов населения, определяется взаимодействием экономического агента «Бизнес» в рамках политики по привлечению рабочей силы и агента «Чело-

век» в рамках выработки решения о формировании собственных доходов. В свою очередь, объем общей площади жилых помещений определяется по результатам реализации агентом «Человек» функции потребителя, то есть принятия им решений в отношении использования собственных и заемных финансовых ресурсов.

Экономическая сущность агента «Человек» реализуется в формировании и использовании финансовых ресурсов. Ключевыми источниками дохода  $InH_t^\Sigma$  выступают предпринимательская деятельность  $InH_t^{en}$ , оплата труда  $InH_t^w$ , социальные трансферты  $InH_t^r$ , доходы от собственности  $InH_t^{prop}$ , а также иные доходы  $InH_t^{of}$ . Кроме того, могут рассматриваться кредитные ресурсы  $InH_t^{cr}$ .

$$InH_t^\Sigma = InH_t^{en} + InH_t^w + InH_t^r + \\ + InH_t^{prop} + InH_t^{of} + InH_t^{cr} + StH_{t-1}.$$

Важнейшим источником денежных доходов на сегодняшний день продолжает являться оплата труда. При этом уровень оплаты труда и численность численности работников предприятий и организаций определяется в рамках предлагаемой модели на основе рыночного механизма взаимодействия экономических агентов.

Для формализованного описания доходной стратегии экономического агента «Человек» предусмотрена процедура адаптивного поведения на рынке труда, в рамках которой происходит последовательный выбор рода деятельности и ВЭД. Агент оценивает привлекательность каждого из четырех вариантов – работа по найму, предпринимателя деятельность, статус безработного, ищущего работу и безработного, который не ищет на данный момент работу. Основываясь на комплексе характеристик агента и среды, делается выбор в пользу одного из вариантов. С макроэкономической точки зрения, численность работников  $L_t^w$ , зависит от величины заработной платы  $Wg$ , численности трудоспособного населения  $P_t^{em}$  и величины других доходов на душу населения  $InH_t^{\Sigma n-p}$ , то есть рассматривается баланс спроса и предложения на рынке труда. Однако в отличие от сугубо балансовых методов расчета, предлагаемый подход основывается на адаптивном поведении интеллектуального агента, способного оценивать экономическое положение и предпочтительность выбора. Благодаря этому на каждом шаге итерационного алгоритма реализуется корректировка численности занятых в экономике на величину  $\lambda^t$ .

Аналогичным образом описывается поведение агента в отношении формирования остальных его параметров, а также проводится описание остальных агентов системы.

Таким образом, одной из отличительных особенностей интеллектуального агента является его способность адаптироваться к изменению условий функционирования. В данном случае речь идет не только о корректировке количественных параметров, но и об изменении качественной составляющей поведения агента, что проявляется в двух аспектах:

1. Выбор различных вариантов действий в различных условиях.
2. Способность агента обучаться.

Первая составляющая связана с определением изменения значений управляемых параметров. Однако именно обучаемость агента обеспечивает возможность его представления как полноценного и независимого субъекта экономических отношений и формирует, тем самым, суть агентного подхода к моделированию и основу интеллектуальной адаптивной модели.

В рамках проводимого исследования, обучаемость рассматривается как возможность корректировки правил поведения. Если правила поведения агента представляют собой варианты действий в той или иной ситуации с определенной вероятностью выбора того или иного действия, то в данном аспекте обучение базируется на корректировке вероятности выбора каждого из них. Агент не просто делает выбор того или иного действия, но и формирует некое ожидание. Если наблюдаемые параметры подтвердили его ожидания, то принятое решение (выбранное действие) воспринимается агентом как правильное и вероятность его использования в схожей ситуации сохраняется. Если же был получен иной результат, чем ожидалось, то вероятность корректируется. Вместе с тем, обучение агента не должно ограничиваться лишь изменением параметров выбора того или иного уже известного действия. Как отмечалось ранее, агент может дополнить свою базу знаний, а в отдельных случаях скорректировать цели функционирования и собственные интересы.

Следует отметить, что корректировка значений целевых индикаторов агента в случае невозможности их достижения соответствует не только понятию адаптации поведения агента, но и критическим исследованиям о поведении агентов [26].

В рамках апробация предложенного инструментария ИАИМ были разработаны агент-ориентированные модели для описания одной из важнейших задач стратегического планирования – регулирования миграционных и демографических процессов на региональном уровне. На *рисунке 5* представлен фрагмент интерфейса агент-ориентированной модели, позволяющей определять динамику миграционных потоков между федеральными округами Российской Федерации.

Регулируемыми параметрами в модели являются средняя заработная плата в регионе, объем инвестиции в основной капитал, а также интегральный индекс качества жизни населения. Подобные модели позволяют, в частности, формировать сбалансированные схемы территориального размещения населения, обосновывать условия и механизмы снижения диспропорций в социально-экономическом развитии отдельных территорий, обусловленных, в том числе, низкой плотностью населения и нехваткой квалифицированных кадров для экономики региона. Голубыми точками на карте показаны агенты, представляющие постоянное население региона, красными – мигранты. Выпадающее меню позволяет сравнивать территории по параметрам численности и плотности населения, средней заработной платы, объема инвестиций в основной капитал. Выходными данными модели являются диаграммы, иллюстрирующие прогнозируемое соотношение мигрантов и постоянного населения, а также динамику и направленность миграционных потоков. На отдельном листе ведется расчет статистики прибывших/убывших по каждому федеральному округу в отношении выбранной «базовой» территории (на *рис. 5* показано на примере Республики Башкортостан).

#### **4. Применение интеллектуальной адаптивной имитационной модели в стратегическом планировании**

Применение ИАИМ как основополагающей составляющей систем поддержки принятия решений (СППР) в области стратегического планирования предполагает использование возможностей инструментария на всех ключевых этапах рассматриваемого процесса. Вместе с тем, важнейшей функцией является разработка прогноза социально-экономического развития территории с уче-

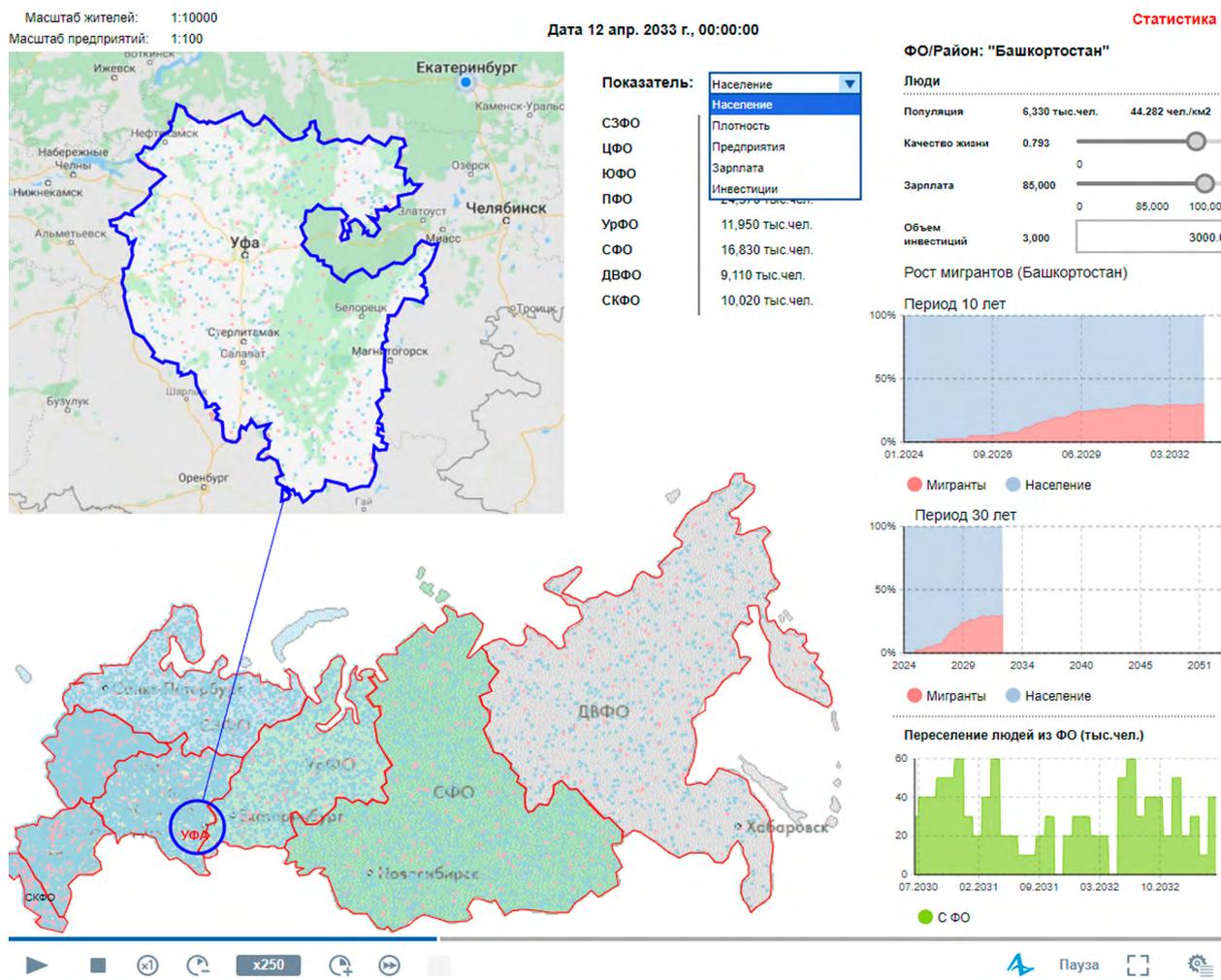


Рис. 5. Интерфейс агент-ориентированной модели регулирования миграционных потоков между федеральными округами Российской Федерации.

том особенностей поведения всех задействованных сторон, включая учет адаптивности их поведения к изменению условий функционирования. Интеграция ИАИМ в существующие процедуры и алгоритмы формирования стратегических решений должно основываться не на подмене СППР модельным инструментарием, а на дополнении возможностей и уже имеющихся методов. Рассматривая данный аспект исследуемой проблемы, следует кратко описать этапы стратегического планирования и предполагаемое место ИАИМ в данных этапах (рис. 6). Отметим, что для полноценного функционирования ИАИМ в рамках СППР должна быть дополнена рядом функциональных блоков (ввода и вывода данных, построения отчетов, расчета показателей динамики и структуры и т.д.), однако эти вопросы

не рассматриваются в настоящем исследовании, поскольку носят в большей степени инженерный, а не научный характер.

I. Постановочный этап включает определение задачи, организационное обеспечение, сбор данных, предварительный анализ. С точки зрения работы ИАИМ, на данном этапе осуществляется ввод данных в систему, их проверка. При этом речь идет не только о статистической информации, отражающей текущее положение и развитие территориальной системы, но и параметры, связанные с установлением горизонта планирования, ограничениях, налагаемых экзогенно.

II. Аналитический этап включает определение состояния и направления развития территориальной системы. Исходя из поставленной задачи, необ-

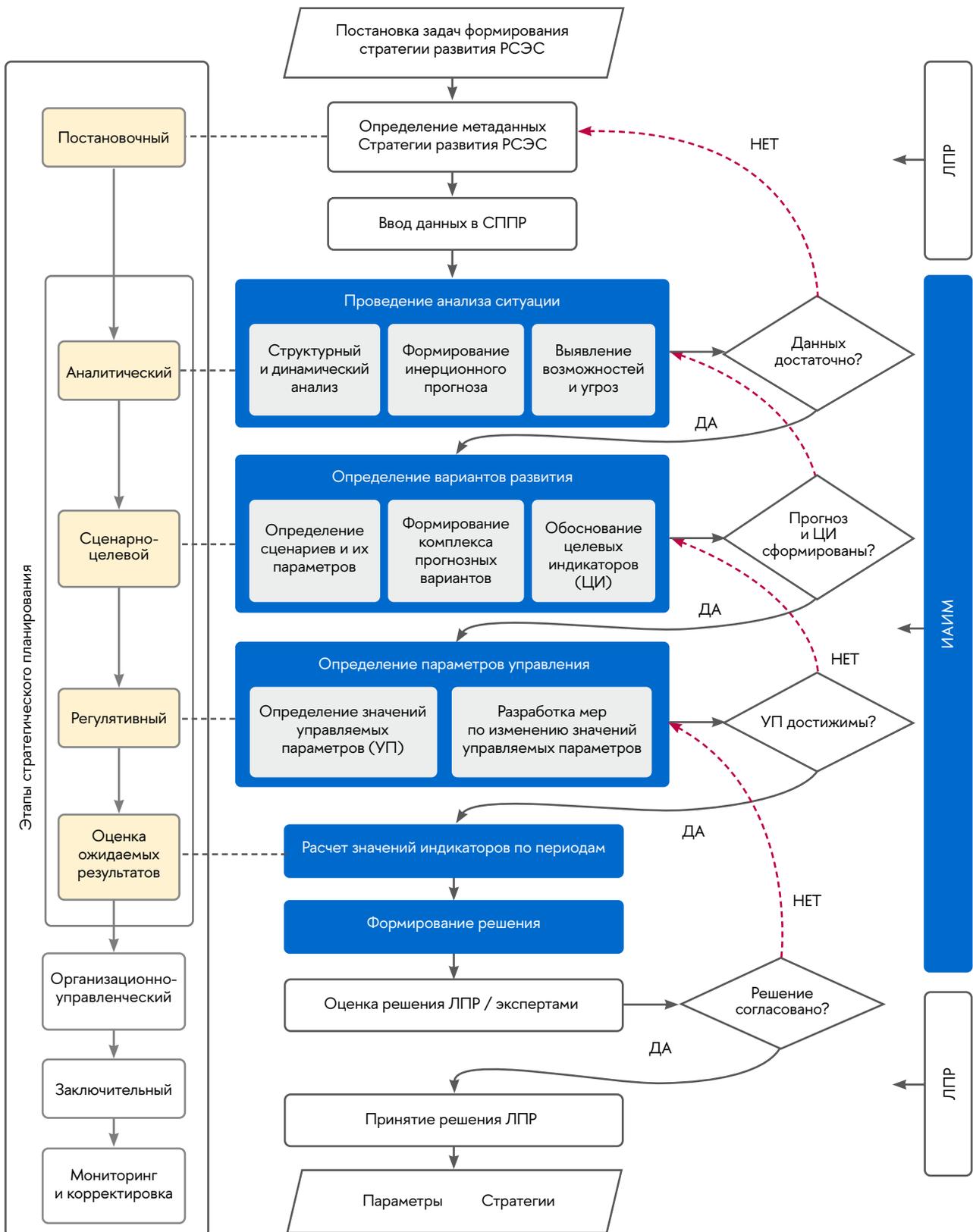


Рис. 6. Алгоритм определения параметров стратегии развития РСЭС с применением СППР на базе ИАИМ.

ходимо оценить экономические, демографические, социальное, культурные, природно-географические и прочие факторы. Этот этап может подразумевать реализацию динамического, структурного, SWOT-анализа, исследование отдельных сфер жизнедеятельности общества, анализа преимуществ, выявление проблем и угроз развития. Результатом является определение проблем территориального развития или выявление неиспользованного потенциала.

Интегрирование ИАИМ в процедуры стратегического планирования базируется на формировании консервативного варианта прогноза ключевых макроэкономических параметров, подразумевающего сохранение имеющихся условий и существующих значений управляемых параметров.

III. Сценарно-целевой этап включает определение целевых ориентиров развития территориальной системы. В рамках ИАИМ разработка сценариев развития осуществляется посредством формирования индикативного плана. Таким образом, происходит увязка задач прогнозирования и планирования развития территориальной социально-экономической системы. Применение имитационного моделирования позволяет учесть ограничения и различные условия.

IV. Регулятивный этап. Определение параметров вектора управляющих воздействий исходя из значения целевых индикаторов базируется на снижении отклонения текущих значений от полученных в результате моделирования.

Для достижения необходимых значений регуляторов по направлениям формируется комплекс мероприятий. На данном этапе определяется величина необходимых ресурсов.

V. Этап оценки ожидаемых результатов. На этом этапе осуществляется определение параметров развития территориальной системы в результате многократного пересмотра управляемых параметров всех рассматриваемых в рамках моделирования экономических агентов. Именно данный этап в наибольшей степени задействует возможности ИАИМ, поскольку позволяет получить прогнозно-плановые оценки сначала на уровне отдельных агентов, а затем и агрегированных показателей. Оценка параметров основывается на проведении ряда модельных экспериментов.

VI. Организационно-управленческий этап, на котором определяется система реализации стратегических решений. Он предполагает описание процессов управления, разграничение полномочий, а также зон ответственности исполнителей, методы

и механизмы взаимодействия и т.д. Применение ИАИМ не предполагается.

VII. Заключительный этап. Прежде чем перейти к практической реализации полученных результатов стратегического планирования, они должны быть утверждены в виде нормативного документа и получить соответствующий юридический статус. На данном этапе применение ИАИМ также не предполагается.

VIII. Этап мониторинга и корректировки. При реализации стратегических решений проводится мониторинг соответствия значений полученных результатов параметрам индикативного плана. При обнаружении отклонения производится пересмотр исходных параметров и донастройка модельного комплекса. Периодичность мониторинга и соответствующей корректировки ИАИМ определяется целями исследования и спецификой области управления.

Из вышесказанного следует, что предлагаемый инструментарий, построенный на базе ИАИМ, может быть применен на большинстве стадий стратегического планирования и является вспомогательным средством, не подменяющее специалистов, а повышающее их эффективность.

На базе разработанного инструментария ППР с применением технологий агент-ориентированного моделирования получена прогнозная оценка динамики миграционных потоков между федеральными округами РФ при изменении величины отдельных управляемых параметров: интегрального показателя качества жизни населения, объемов инвестиций в основной капитал и средней заработной платы, предусмотренных действующими стратегическими планами комплексного развития территорий (рис. 7). Проведены сценарные эксперименты (на примере Дальневосточного ФО как территории с наиболее низкой плотностью населения), что позволило спрогнозировать на период до 2035 г. динамику численности населения округа при реализации четырех базовых сценарных вариантов, включающих различные комбинации управляемых параметров. Предварительные результаты показали вариацию изменения численности населения ДВФО (рис. 7) в пределах от  $-20\%$  (инерционный), до  $+12\%$  (умеренно-оптимистический),  $+25\%$  (оптимистический) и  $+45\%$  (максимально возможный).

В целом, предложенный инструментарий формирует основу для выработки сбалансированной

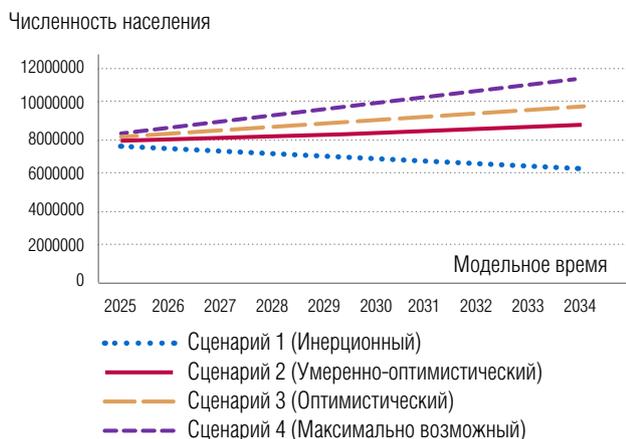


Рис. 7. Модельная динамика изменения численности населения ДВФО при выполнении разных сценариев.

демографической и миграционной политики в рамках разработки и реализации стратегических планов развития регионов РФ на средне- и долгосрочную перспективу.

### Заключение

Разработанный в рамках проведенного исследования подход к стратегическому планированию территориального развития на основе интеллектуальной модели базируется на системной интеграции различных инструментальных подходов: методов агент-ориентированного моделирования в части формализации поведения интеллектуальных агентов, которым свойственна адаптивность поведения, неполная рациональность; методов динамического моделирования в части формализации потоковых данных на макроуровне.

Предложенная структура ИАИМ включает в себя четыре взаимосвязанных иерархических уровня —

интеллектуальные агенты, макропроцессы, система управления и внешняя среда. Данные уровни формируют блоки модели, каждый из которых требует специфическую информационную и методическую основу. В рамках проведенного исследования разработана модель адаптивного поведения интеллектуального агента, основанная на принятии им решений. Несомненно, что каждый экономический агент имеет отличительные особенности, обусловленные целями, положением в экономической системе, используемыми ресурсами, значимыми параметрами и т.д. Представленный пример формирования доходов агента «Человек» включает лишь незначительную, однако важную составляющую функционирования данного агента.

С практической точки зрения, внедрения СППР, основанной на ИАИМ, позволит повысить уровень согласованности и эффективности принимаемых решений. На наш взгляд, подобный инструментарий может быть интересен, в первую очередь, органам государственного управления, занимающимся разработкой стратегических решений на региональном уровне. Предложен алгоритм определения параметров Стратегии развития РСЭС с применением СППР на базе ИАИМ, определена последовательность действий, взаимосвязанных с этапами стратегического планирования. Показано, что большинство ключевых задач подразумевает возможность повышения эффективности за счет применения современных информационных систем. Вместе с тем, ИАИМ является лишь инструментом, не подменяющим собой лицо, принимающее решения. ■

### Благодарности

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-28-00871.

### Литература

- Суворов Н.В., Трещина С.В., Белецкий Ю.В. Проблемы разработки методов долгосрочного прогнозирования динамики отечественной экономики (методология и модельный инструментарий) // Проблемы прогнозирования. 2020. № 6(183). С. 66–80.
- Липушкина И.Ю. Формирование единой системы стратегического и территориального планирования регионального развития // Стратегия устойчивого развития регионов России. 2014. № 24. С. 37–47.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. Цифровой завод: методы дискретно-событийного моделирования и оптимизации производственных характеристик // Бизнес-информатика. 2021. Т. 15. № 2. С. 7–20. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.7.20>
- Белянова А.М., Бирюков В.А., Черковец В.Н. Стратегическое планирование в условиях современной экономики России (материалы научного семинара по проблемам стратегического планирования) // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. 2016. № 3. С. 141–158.

5. Леонов С.Н. Проблемы формирования системы стратегического регионального планирования в России на современном этапе // Труды Братского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2018. Т. 1. С. 3–8.
6. Швецов А.Н. Деструктивные стереотипы стратегического планирования // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «От рецессии к стабилизации и экономическому росту». Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова. 2016. С. 8–16.
7. Резникова А.В. Стратегическое планирование регионального развития как основной элемент территориального развития // Вопросы региональной экономики. 2014. № 4(21). С. 148–154.
8. Бюллетень Счетной палаты РФ. Госуправление // Счетная палата РФ. 2020. №1(226). [Электронный ресурс]: <https://ach.gov.ru/statements/byulleten-schetnoy-palaty-1-266-2020-g> (дата обращения 15.04.24).
9. Стратегическое планирование и новые технологии // Центр стратегических разработок. 2017. [Электронный ресурс]: <https://www.csr.ru/ru/news/2313/> (дата обращения 15.04.24).
10. Карпов В.К., Лылов А.С. О проблемах стратегического планирования в России // Теория и практика мировой науки. 2020. № 3. С. 2–9.
11. Панкевич Н.В., Руденко В.В. Отдельные проблемы идентичности в документах стратегического планирования Российской Федерации // Вестник Сургутского государственного университета. 2021. № 4(34). С. 128–134.
12. Ускова Т.В. Проблемы устойчивого развития и стратегического планирования в исследованиях ВолНЦ РАН // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020. Т. 13. № 6. С. 9–23.
13. Nijkamp P. Information systems for regional development planning: a state-of-the-art survey // Reprinted from Environment and Planning B: Planning and Design. 1983. Vol. 10. [Электронный ресурс]: <https://core.ac.uk/reader/33893640> (дата обращения 15.04.24).
14. Борзых Н.Ю. Анализ систем поддержки принятия решений, их классификаций и методов принятия решений // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 91-7. С. 87–90.
15. Низамутдинов М.М., Орешников В.В. Определение параметров управления региональным развитием на основе алгоритмов нечеткой логики // Экономика и математические методы. 2016. Т. 52. № 2. С. 30–39.
16. Галин Д.М., Сумарокова И.В. Применение динамической макромоделли России для прогнозирования развития ее экономики // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2021. Т. 71. № 3. С. 11–23.
17. Низамутдинов М.М., Орешников В.В. Информационная поддержка формирования стратегий инновационного развития регионов на основе адаптивной имитационной модели // Системы и средства информатики. 2018. Т. 28. № 2. С. 154–169.
18. Бородин С.Н. Прогнозирование экономического развития региона на основе регрессионных и нейросетевых моделей // Российский экономический вестник. 2024. Т. 7. № 1. С. 290–300.
19. Позняк К.В. Концепция ограниченной рациональности в поведенческой экономике // Universum: психология и образование. 2020. № 10(76). С. 14–15.
20. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. Разработка программной платформы для крупномасштабного агент-ориентированного моделирования сложных социальных систем // Программная инженерия. 2019. Т. 10. № 4. С. 167–177.
21. Новикова Т.С., Цыплаков А.А. Социальная политика в многоотраслевой агент-ориентированной модели // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020. Т. 13. № 3. С. 129–142.
22. Новиков Д.А. Ограниченная рациональность и управление // Математическая теория игр и ее приложения. 2022. Т. 14. № 1. С. 49–84.
23. Линский Д.В. Количественная оценка влияния ожиданий и предпочтений экономических агентов на социально-экономическое развитие // Теоретическая экономика. 2021. № 4(76). С. 66–75.
24. Масловский А.Э., Косинова А.В. Рассуждение на основе прецедентов в системах поддержки принятия решений // Наукосфера. 2023. № 9-2. С. 126–130.
25. Мигранова Л.И., Атнабаева А.Р. Подход к моделированию образовательной миграции с применением нечеткой логики и агент-ориентированного моделирования // Экономика, предпринимательство и право. 2020. Т. 10. № 12. С. 3389–3402.
26. Simon H.A. Rationality as process and as product of thought // American Economic Review. 1978. Vol. 68. No. 2. P. 1–16.

## Об авторах

### Низамутдинов Марсель Малихович

к.т.н., доц.;

заведующий сектором экономико-математического моделирования, Институт социально-экономических исследований, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Россия, 450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, проспект Октября, д. 71;

E-mail: marsel\_n@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5643-1393

**Орешников Владимир Владимирович**

к.э.н.;

старший научный сотрудник, Институт социально-экономических исследований, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Россия, 450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, проспект Октября, д. 71;

E-mail: VOresh@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5779-4946

**Давлетова Зульфия Альфировна**

к.т.н.;

старший научный сотрудник, Институт социально-экономических исследований, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Россия, 450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, проспект Октября, д. 71;

E-mail: davletova11@mail.ru

ORCID: 0009-0008-4389-2113

# Development and testing of the toolkit of strategic planning of territorial development on the basis of an intelligent adaptive simulation model

**Marsel M. Nizamutdinov**

E-mail: marsel\_n@mail.ru

**Vladimir V. Oreshnikov**

E-mail: voresh@mail.ru

**Zulfiya A. Davletova**

E-mail: davletova11@mail.ru

Institute of Socio-Economic Research, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

**Abstract**

Management of strategic development of Russian regions is a complex task, the solution of which is associated with a set of difficulties of methodological nature. In particular, there is a low quality of formed forecast assessments on the main parameters under consideration. Despite the availability of research in this area and regulatory legal framework, strategic planning documents in Russia are often not linked to each other, are repeatedly revised in the course of implementation and, ultimately, are not fully implemented. This is largely due to the fact that the available scientific potential is not fully utilized,

including the development of relevant information systems. The aim of this research is to develop a decision support toolkit for strategic planning of regional development. Agent-based modeling, adaptive management, data mining and scenario modeling are used as the main research methods. In the course of the research, the concept of toolkit formation is proposed based on the construction of an intelligent adaptive simulation model (IASM), taking into account the theory of strategic planning and the ability to process heterogeneous data. The proposed structure of IASM includes four interrelated hierarchical levels – intelligent agents, macro-processes, management system and external environment. Special attention is paid to the development of a model of adaptive behavior of an intelligent agent. The proposed approach to implementation will make it possible to cover the whole range of tasks – from the analysis of input data to the development of management decisions. The software implementation of the model thus developed is carried out using the AnyLogic toolkit.

**Keywords:** strategic planning, territorial socio-economic systems, simulation model, adaptive management, intellectual analysis, decision support system, agent-based approach

**Citation:** Nizamutdinov M.M., Oreshnikov V.V., Davletova Z.A. (2024) Development and testing of the toolkit of strategic planning of territorial development on the basis of an intelligent adaptive simulation model. *Business Informatics*, vol. 18, no. 4, pp. 25–45. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.4.25.45

## References

1. Suvorov N.V., Treshchina S.V., Beletsky Yu.V. (2020) Problems of developing methods for long-term forecasting of the dynamics of the domestic economy (methodology and model tools). *Problems of Forecasting*, no. 6(183), pp. 66–80 (in Russian).
2. Lipushkina I.Yu. (2014) Formation of a unified system of strategic and territorial planning of regional development. *Strategy for sustainable development of Russian regions*, no. 24, pp. 37–47 (in Russian).
3. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2021) Digital plant: methods of discrete-event modelling and optimization of production characteristics. *Business Informatics*, vol. 15, no. 2, pp. 7–20. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.7.20>
4. Belyanova A.M., Biryukov V.A., Cherkovets V.N. (2016) Strategic planning in conditions of modern Russia's economy (materials of research seminar on strategic planning). *Moscow University Economics Bulletin*, no. 3, pp. 141–158 (in Russian).
5. Leonov S.N. (2018) Problems of forming a system of regional planning in Russia at the present stage. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i upravleniye*, vol. 1, pp. 3–8 (in Russian).
6. Shvetsov A.N. (2016) Destructive stereotypes of cardinal planning. *VIII international research-to-practice conference "From recession to stabilization and economic growth"*, Plekhanov Russian University of Economics, pp. 8–16 (in Russian).
7. Reznikova A.V. (2014) Strategic planning of regional development as the main element of territorial development. *Issues of Regional Economy*, no. 4(21), pp. 148–154.
8. Accounts Chamber of the Russian Federation (2020) *Bulletin of the accounts chamber of the Russian Federation. State administration*, no. 1(226). Available at: <https://ach.gov.ru/statements/byulleten-schetnoy-palaty-1-266-2020-g> (accessed 15 April 2024) (in Russian).
9. Center for Development Strategy (2017) *Strategic planning and new technologies*. Available at: <https://www.csr.ru/ru/news/2313/> (accessed 15 April 2024) (in Russian).
10. Karpov V.K., Lylov A.S. (2020) On the problems of main planning in Russia. *Theory and practice of the world science*, no. 3, pp. 2–9 (in Russian).
11. Pankevich N.V., Rudenko V.V. (2021) Selected problems of identity in planning management documents of the Russian Federation. *Surgut State University Journal*, no. 4(34), pp. 128–134 (in Russian).
12. Uskova T.V. (2020) Problems related to development and strategic planning in the research of VoISC RAS. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, vol. 13, no. 6, pp. 9–23 (in Russian).
13. Nijkamp P. (1983) Information systems for regional development planning: A contemporary review. *Reprinted from Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 10. Available at: <https://core.ac.uk/reader/33893640> (accessed 15 April 2024).
14. Borzykh N.Yu. (2022) Analysis of decision support systems, their classifications and decision-making methods. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*, no. 91-7, pp. 87–90 (in Russian).

15. Nizamutdinov M.M., Oreshnikov V.V. (2016) Determination of parameters for managing regional development based on fuzzy logic algorithms. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 52, no. 2, pp. 30–39 (in Russian).
16. Galin D.M., Sumarokova I.V. (2021) Application of a dynamic macromodel of Russia to forecast the development of its economy. *Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossiyskoy akademii nauk (ISA RAN) (Proceedings of the Institute for Systems Analysis Russian Academy of Sciences (ISA RAS))*, vol. 71, no. 3, pp. 11–23 (in Russian).
17. Nizamutdinov M.M., Oreshnikov V.V. (2018) Information support for the formation of strategies for innovative development of regions based on an adaptive artificial model. *Systems and Means of Informatics*, vol. 28, no. 2, pp. 154–169 (in Russian).
18. Borodin S.N. (2024) Forecasting the economic development of the region based on regression and neural network models. *Russian Economic Bulletin*, vol. 7, no. 1, pp. 290–300 (in Russian).
19. Poznyak K.V. (2020) The concept of bounded rationality in behavioral economics. *Universum: psikhologiya i obrazovaniye*, no. 10(76), pp. 14–15 (in Russian).
20. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2019) Development of a software platform for large-scale agent-based research of complex social systems. *Software Engineering*, vol. 10, no. 4, pp. 167–177 (in Russian).
21. Novikova T.S., Tsyplakov A.A. (2020) Social policy in a multi-sectoral agent-based mode. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, vol. 13, no. 3, pp. 129–142 (in Russian).
22. Novikov D.A. (2022) Bounded intelligence and control. *Matematicheskaya Teoriya Igr i Ee Prilozheniya*, vol. 14, no. 1, pp. 49–84 (in Russian).
23. Linsky D.V. (2021) Quantitative assessment of expectations and opinions of economic agents regarding socio-economic development. *Theoretical economics*, no. 4(76), pp. 66–75 (in Russian).
24. Maslovsky A.E., Kosinova A.V. (2023) Case-based reasoning in soft decision support. *Naukosfera*, no. 9-2, pp. 126–130 (in Russian).
25. Miigranova L.I., Atnabaeva A.R. (2020) An approach to modelling educational migration using fuzzy logic and agent-based research. *Economics, entrepreneurship and law*, vol. 10, no. 12, pp. 3389–3402 (in Russian).
26. Simon H.A. (1978) Rationality as a process and as a product of thought. *American Economic Review*, vol. 68, no. 2, pp. 1–16.

### About the authors

#### Marsel M. Nizamutdinov

Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.;

Head of the Sector of Economic and Mathematical Modeling, Institute of Social and Economic Researches, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 71, Prospekt Oktyabrya, Ufa 450054, Russia;

E-mail: marsel\_n@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5643-1393

#### Vladimir V. Oreshnikov

Cand. Sci. (Econ.);

Senior Researcher, Institute of Social and Economic Researches, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 71, Prospekt Oktyabrya, Ufa 450054, Russia;

E-mail: VOresh@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5779-4946

#### Zulfiya A. Davletova

Cand. Sci. (Tech.);

Senior Researcher, Institute of Social and Economic Researches, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 71, Prospekt Oktyabrya, Ufa 450054, Russia;

E-mail: davletova11@mail.ru

ORCID: 0009-0008-4389-2113