

WEB-СЕРВИС ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ О СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ*

И. М. Москалев, Н. А. Бегунов (Екатеринбург)

Любое социально-экономическое территориальное образование является сложной слабо формализованной системой, обладающей множеством прямых и обратных связей между ее элементами, часто противоречащими друг другу по целям функционирования. Необходимость учета при принятии управленческих решений большого количества разнообразных факторов увеличивает риск выбора неверной альтернативы. Последствия неправильного решения могут пагубно сказаться на всех субъектах экономики и социальной сферы территориального образования. Еще более усложняется задача тактического и стратегического управления, так как объектом управления является активная система, сложность управления которой обусловлена присутствием в ней людей.

Стоит отметить, что во многих территориальных образованиях разработка и контроль над ходом работ по выполнению стратегических планов развития до сих пор не автоматизированы или слабо автоматизированы, а традиционные способы планирования не позволяют провести качественный анализ последствий принимаемых решений во времени, оценить их влияние на субъекты экономики. В то же время происходит непрерывное возрастание сложности управляемых объектов с одновременным сокращением времени, отводимого ответственным лицам на анализ проблемной ситуации, поиск альтернатив решения задач, их оценку и формирование управляющих воздействий. Поэтому для обоснованного принятия управленческих решений необходимы соответствующие технологии и инструменты.

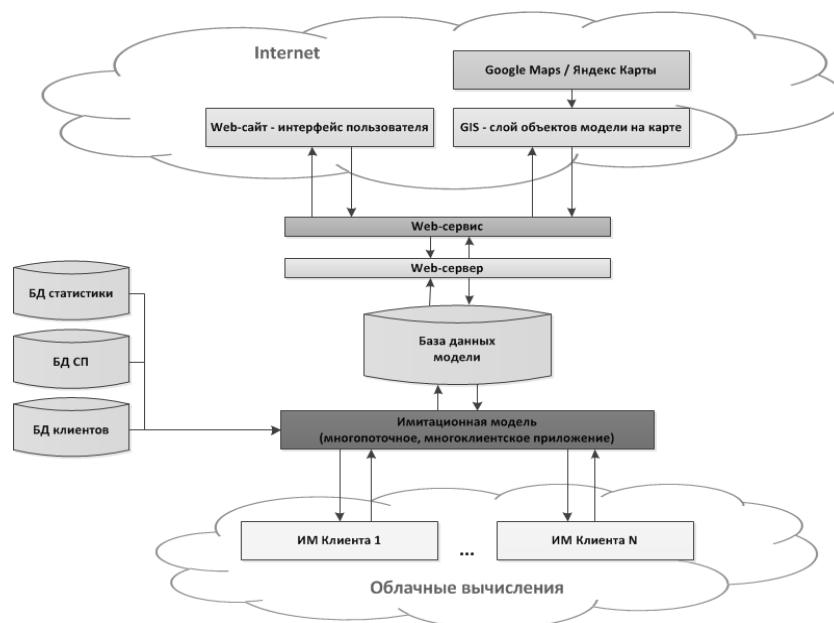
В данной работе кратко рассмотрено разрабатываемое авторами веб-приложение (SaaS-сервис), позволяющее в полной мере решать задачи выработки коллективных решений, анализа и прогнозирования: приведена структура приложения, описан выбор технологии моделирования и математических моделей, сложности в решении задач социально-экономического моделирования территориальных образований, с которыми столкнулись разработчики.

В большинстве экономико-математических моделей, изучающих макроэкономические системы, поведение таких микроэкономических агентов, как отдельные домохозяйства, не рассматривается достаточно подробным образом. Тем не менее особенности поведения именно этих агентов должны приниматься во внимание при прогнозировании последствий того или иного управленческого решения. В этой связи разработчики экономико-математических моделей все чаще ставят вопрос об актуальности проблем построения иерархических моделей, включающих в себя хозяйствующих субъектов макроуровня и агентов микроуровня, поведение которых должно быть описано более реалистично, нежели применяемые на практике методы их представления.

Эффективное построение подобных моделей возможно с использованием аппарата агентного моделирования. Использование данной парадигмы моделирования позволяет совместить объекты разного уровня абстракции в рамках одной модели. Поведение во времени агентов может быть эффективно спрогнозировано путем компьютерного имитационного моделирования.

Концептуальная схема, создаваемого авторами приложения приведена на рисунке. Приложение реализовано по технологии клиент-сервер.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых (МК-3912.2011.6).



Концептуальная схема приложения

Центральным компонентом сервиса поддержки коллективных решений является мультиагентная имитационная модель социально-экономического развития территориального образования. Модель представлена как совокупность взаимодействий большого числа простых независимых агентов, обладающих автономным поведением, набором правил взаимодействия с другими агентами, возможностью эволюционировать. С помощью данного подхода можно представить (смоделировать) систему практически любой сложности из большого количества взаимодействующих объектов, не прибегая к их агрегированию.

В качестве базовой экономической системы реализована потоковая модель круговорота ресурсов, представляющая открытую экономику. Ее можно определить следующими ключевыми аспектами. Во-первых, она включает в себя экономических и социальных агентов, результаты деятельности которых находят отражения во всей системе. В число агентов входят домашние хозяйства, максимизирующие полезность от приобретаемых ими товаров и услуг; фирмы, максимизирующие свою прибыль; государственные органы управления, с помощью налоговых механизмов пытающиеся создать благоприятную социо-экономическую среду для развития территории. Во-вторых, модель включают в себя систему правил (алгоритмов), посредством применения которых достигается равновесие на рынке каждого товара, услуги и фактора производства.

Клиентская часть системы представлена в виде веб-сайта. Реализованы следующие интерфейсы пользователя:

- интерфейс редактирования скриптовых сценариев моделирования;
- интерфейс определения экзогенных параметров модели экспертом;
- интерфейс визуального размещения агентов на карте территориального образования;
- интерфейс представления результатов работы имитационной модели.

Результаты социально-экономического моделирования отображаются на карте (в качестве карты могут быть использованы, например, Google Maps, OpenStreetMap, Яндекс Карты). Пользователю предоставлен ряд функций по управлению отображаемым содержимым: фильтрация содержимого, агрегирование и кластеризация выводимых результатов. Средства интерфейса включают возможности интерактивного редактиро-

вания параметров агентов путем их непосредственного выбора на карте и изменения значения свойств.

В базе данных (БД) имитационной модели хранятся: статистически данные межотраслевого баланса, данные по стратегическим проектам, описание агентов. Взаимодействие имитационной модели с БД осуществляется через веб-сервис.

Мультиагентное моделирование напрямую определяется увеличивающимися вычислительными возможностями современных компьютерных технологий. Для ускорения проведения модельных экспериментов предполагается расчет имитационных моделей вынести на кластер. Поставлены задачи по распараллеливанию разработанных алгоритмов для эффективного использования возможностей многопроцессорной техники. Исследуется возможность применения современных видеоадаптеров для расчетов, в частности использования новых видеоадаптеров NVIDEA и ее технологии CUDA, позволяющей проводить вычисления с использованием графических процессоров NVIDIA, поддерживающих технологию GPGPU.

В настоящий момент идут работы по настройке, адаптации и апробации созданных социально-экономических моделей для территориального образования уровня муниципалитет на примере города Екатеринбурга. Уже получен ряд теоретических и практических результатов, выявлены замечания в используемых экономико-математических подходах.

Базовая структура производственного агента определяется выражением

$$E = \langle C, Pot, Beh, P, D, Str \rangle, \quad (1)$$

где C – модель потребления (на основе межотраслевого баланса); Pot – модель потенциального выпуска; Beh – модель поведения производственного агента; P – модель производства; D – модель распределения ресурсов; Str – ресурсы и средства предприятия.

Базовая структура домашнего хозяйства определяется выражением

$$S_i = \langle \{IP_i\}, SC_i, SBeh_i, SD_i, SSStr_i \rangle, \quad (2)$$

где $\{IP_i\}$ – индивидуальные характеристики социального агента; SC_i – модель потребления социального агента; $SBeh_i$ – модель поведения социального агента; SD_i – модель распределения ресурсов социального агента; $SSStr_i$ – ресурсы и средства социального агента.

Структура модели поведения социального агента определяется выражением

$$SBeh_i = \langle SCh_i, \{p_{1i}, p_{2i}, \dots, p_{mi}\}, DM_i, BehM_i \rangle, \quad (3)$$

где SCh_i – граф переходов-состояний социального агента; $\{p_{1i}, p_{2i}, \dots, p_{mi}\}$ – вектор характеристик социального агента; DM_i – матрица решений социального агента; $BehM_i$ – модели поведения социального агента.

Для более адекватного отображения поведения людей в разработанных мультиагентных моделях применяются средства интеллектуального анализа данных для построения деревьев решений (моделей поведения) [1].

Более подробно математические модели агентов описаны в работе [2].

Учитывая полученные замечания по моделям, для адекватного представления конкуренции между производителями и потребителями товаров и услуг на уровне муниципального образования целесообразно ввести классификацию агентов-предприятий:

1. Предприятия, ориентированные на экспорт товаров.
2. Предприятия «локальные монополисты» (например, предприятия сферы ЖКХ).
3. Предприятия, развивающиеся в среде абсолютной конкуренции (сфера услуг, общепит, торговля).
4. Частные предприятия, конкурирующие с государственными (образование, здравоохранение, транспорт).

При конкуренции между внешними и внутренними производителями товаров и услуг необходимо выделить отрасли, цены на продукцию которых формируются на городском рынке, и прочие отрасли с высокой долей импортируемых товаров. В случае, когда цены на продукцию отрасли определяются на внешних рынках, действия внутренних производителей не меняют коренным образом ситуации на рынке и средняя цена определяется внешней средой. Для моделирования таких отраслей необходимо задавать цены на продукцию и долю внутренних производителей на городском рынке с помощью сценариев на основании экспертных оценок или анализа статистических данных.

Для отраслей, где внешние производители слабо представлены, а это, в первую очередь, сфера услуг, цены преимущественно будут формироваться внутренними производителями.

Для реализации такого вида моделей требуется:

1. Определение доли присутствия на городском рынке государственных и частных предприятий сферы услуг.
2. Определение средней стоимости услуг этих предприятий и суммы расходов человека на определенную потребность, в результате превышения которой он становится клиентом частных компаний (предполагается, что цены частных предприятий выше, чем государственных, и житель города при повышении благосостояния стремится получать более качественные товары в коммерческих организациях).
3. Определение стратегии развития таких предприятий на основе данных о поддержке государства и моделей олигополии (модели Курно, Бертрана, Штакельберга и др.).

При изменении цен на факторы производства и увеличении или понижении налоговых ставок изменяется структура потребления предприятий. Это требует перерасчета межотраслевого баланса. Для этого в модель социально-экономического развития территориального образования введены модели равновесия. Равновесие достигается путем итеративного пересчета, сводящегося к уравниванию спроса и предложения на рынках товаров и услуг.

При изменении внешних цен на сырье использование динамической модели межотраслевого баланса позволяет рассчитать коэффициенты межотраслевого баланса при изменении цен на ресурсы:

$$\left\{ \begin{array}{l} PPrice_{t+\tau}^i = \sum_{i=1}^N (PPrice_t^i * k^i) + \Delta PPrice_t^j * k^j + \Delta_{t+\tau}^i, i = \overline{1, N}; \\ \Delta_{t+\tau}^i = \Delta_t^i \frac{\sum_{i=1}^N (PPrice_t^i * k^i) + \Delta PPrice_t^j * k^j}{\sum_{i=1}^N (PPrice_t^i * k^i)}, \end{array} \right. \quad (4)$$

где N – количество отраслей; $PPrice^i$ – стоимость УЕТ для j -й отрасли; τ – задержка в изменении стоимости продукции предприятия при изменении стоимости сырья; Δ_t^i – доба-

вочная стоимость j -й отрасли на 1 УЕТ; $\Delta PPrice_i^j$ – изменение стоимости УЕТ для j -й отрасли; k^j – доля ресурса j в межотраслевом балансе для выпуска i -го вида продукции.

В случае изменения цен на товары и услуги необходимо учитывать изменения в структуре потребления горожан. Это может быть реализовано с использованием моделей взаимозаменяемости благ. Возможны два варианта в зависимости от имеющихся данных:

1. Использование эластичностей по факторам замещения (товарам) при сохранении заработка и изменении цены или ограничениях в потреблении товаров (данные из общероссийской статистики по группам товаров и услуг).

2. На основе модели потребительского выбора (функция полезности), модель Р. Стоуна.

Подводя итоги, можно сказать, что выполненные в ходе работы исследования сочетают теоретические и практические качества. В разрабатываемом приложении на теоретико-методологическом уровне заложены основы для создания комплексных инструментов анализа и имитирования социально-экономических явлений, которые устанавливают связь между микро- и макроповедением агентов.

Практическая ценность работы состоит в том, что создаваемый SaaS-сервис может быть использован управляющими структурами территориальных образований и бизнеса при решении задач управления и стратегического планирования, оптимизации расходования ресурсов, повышения эффективности и обоснованности принятия управленческих решений.

Принципы и подходы, изложенные в работе, могут быть применены при проектировании и разработке информационных систем поддержки принятия управленческих решений для администраций субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления территориальных образований, холдингов, промышленных и финансовых групп и т.п. Также предлагаемая технология может быть использована для проведения компьютерных деловых имитационных игр с целью повышения квалификации лиц, принимающих решения.

Литература

1. **Клебанов Б. И., Москалев И. М., Бегунов Н. А., Рапопорт И. А.** Технологии Data Mining при разработке мультиагентных имитационных моделей // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. №2 . 56 с.
2. **Клебанов Б. И., Москалев И. М., Бегунов Н. А., Рапопорт И. А.** Технология моделирования социально-экономической динамики муниципального образования на основе мультиагентного подхода // IV Всероссийская научно-практическая конференция ИММОД-2009. Т. 2. СПб.: ЦНИИТС, 2009. 356 с. С. 113–118.