

ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА

Б. И. Клебанов, И. М. Москалев, Н. А. Бегунов, И. А. Рапопорт (Екатеринбург)

Необходимость принятия большого количества управленческих решений администрацией муниципального образования (МО), направленных на развитие и модернизацию городской инфраструктуры, делает актуальным использование автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР). СППР на основе имитационной мультиагентной модели МО способна стать инструментом комплексного анализа и прогноза развития ситуации в городе, позволяя оценить возможные риски реализации тех или иных проектов, их взаимное влияние и влияние на качество жизни горожан.

Общих математических формул, описывающих поведение столь сложных эволюционных систем, как МО, в целом, не найдено. Вычисления, соответствующие эволюции объектов, неприводимы к конечному аналитическому виду. Развитие таких систем может быть эффективно спрогнозировано только путем компьютерной имитации процесса эволюции.

Существующие в настоящее время разработки в этой области чаще всего являются узконаправленными, основанными на моделях изменения агрегированных параметров, и нацелены, как правило, на прогнозирование макроэкономических показателей. Примерами являются системы "Прогноз" (ЗАО «Прогноз», Д. Л. Андрианов), «АИС-Регион» (компания «Волгоинформсеть», д.э.н. В. А. Цыбаков), СИРЕНА (Институт экономики СО РАН, А. Г. Гранберг, С.А. Суспицын). Реализованные в данных системах модели основываются на системной динамике Дж. Форрестера и полностью или частично исключают возможность персонификации субъектов экономики.

Значительный интерес для решения данной задачи представляет исследование возможности применения агентной парадигмы к моделированию развития МО с целью получения общей картины СЭР. У истоков мультиагентного подхода лежат методы экспертного, имитационного и ситуационного моделирования. Существенный вклад в развитие данного направления в нашей стране внесли Поспелов Д. А., Попов Э. В., Карпов Ю. Г.

Таким образом, в основу предлагаемой технологии моделирования положена мультиагентная имитационная модель, применение которой дает возможность оценки управленческих решений и влияний внешней среды, в том числе негативных, как на отдельных субъектах экономики (категорий граждан, отраслей промышленности, отдельных предприятий), так и на макропоказатели в целом. Учет связей между объектами в мультиагентной модели, способствует повышению качества прогнозирования и позволяет оптимизировать структуру распределения материально-финансовых ресурсов и выбрать наилучший вариант стратегии развития из рассматриваемых.

При этом в рассматриваемой технологии в имитационной модели используются и модели системной динамики, в тех случаях, когда детальная информация по объектам неважна, либо недостаточно данных для построения мультиагентных моделей.

В качестве базовой модели в рамках данной работы рассматривается потоковая модель круговорота ресурсов, представляющая открытую экономику, имеющую связи с внешним миром и государством. Взаимодействуя между собой, агенты образуют рыночную инфраструктуру: рынок товаров и услуг, рынок труда, рынок недвижимости, финансовый рынок и т.д.

В основу описания поведения агентов положена модель жизненного цикла. Каждый интеллектуальный агент развивается в соответствии с собственной моделью поведения, которая может изменяться в рамках его индивидуального жизненного цикла. Жизненный цикл конкретного агента представлен в виде дискретной системы, при

определенных условиях меняющей свои внутренние состояния, и может быть задан в виде графа переходов между стадиями (режимами) его существования (рис. 1).

Динамическая модель перехода интеллектуального агента из одного режима функционирования в другой представлена в виде продукционной системы:

$$PS = \langle R, B, I \rangle, \quad (1)$$

где R – множество режимов функционирования агента; B – множество правил преобразования (база знаний); I – интерпретатор (машина логического вывода).

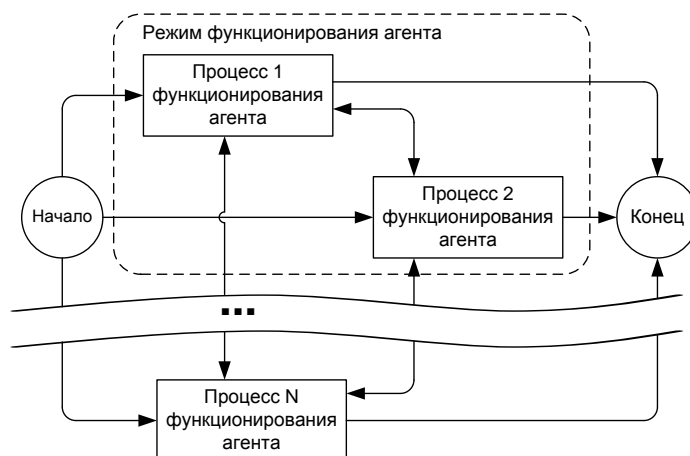


Рис. 1. Жизненный цикл агента

Структура k -го правила $p_k, i = \overline{1, K}$ имеет форму $p_k : if (R_v \wedge \{q_j\}) then (R_m)$, где R_v – текущий режим функционирования агента; $q_j, j = \overline{1, J}$ – множество параметров, контролируемых в данном состоянии; R_m – новый режим функционирования агента.

По уровням определения модели агентов можно разделить на 2 типа:

1. Глобальные модели (извне): на уровне множества объектов, объединенных на основании определенного признака (например, модели рождаемости, смертности, миграции и др.).

2. Локальные модели (изнутри): на уровне отдельного объекта (например, модель потребления человека).

По принципам построения моделей агентов и исходных данных можно выделить несколько подходов (рис. 2):

1. Использование регрессионных зависимостей, для определения логики на уровне множеств агентов.

2. Формирование базы знаний агентов на основании интеллектуального анализа данных, для определения логики поведения отдельных агентов.

3. Использование целевых функций для определения логики поведения агентов.

Выявленные регрессионные зависимости могут использоваться для построения моделей системной динамики, например, при прогнозировании: рождаемости, смертности, заболеваемости населения и ряда других показателей. Эти модели применяются в тех случаях, когда невозможно учесть всё множество внешних факторов влияющих на поведение группы людей при моделировании каждого человека в отдельности.

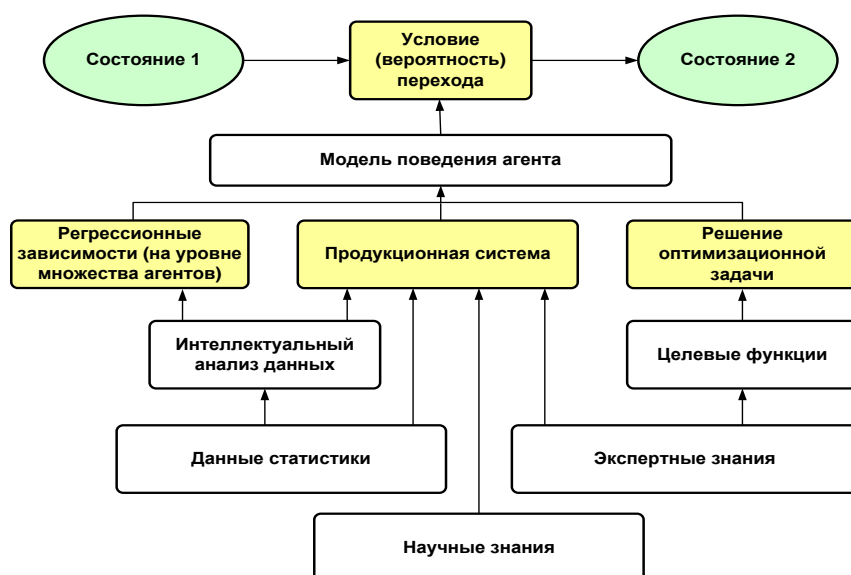


Рис. 2. Классификация подходов к определению логики поведения агентов

Существенным недостатком такого подхода является невозможность точно соотнести выполняемое действие с конкретным агентом. К плюсам такого подхода можно отнести несколько меньшие требования к статистике. В данном случае, более важным является временной интервал, за который собрана статистика, а не наличие данных статистики по всем возможным сочетаниям признаков агентов.

В случае использования базы знаний агентов существует возможность построения локальных моделей определяющих логику поведения на уровне отдельного агента. Такой подход основывается на предположении, что социальные и производственные агенты, имеющие одинаковые наборы характеристик в одних и тех же условиях ведут себя сходным образом (примером может служить принцип Беккера в экономике). То есть вероятность принятия положительного решения по какому-либо вопросу изменяется с изменением характеристик агента и переходов его в другую группу.

При таком подходе удастся учесть все особенности характеристик объектов. Можно выделить два основных преимущества использования данного метода:

1. Получение нового качества прогнозных данных по сравнению с регрессионными зависимостями: прогнозирование динамики развития на уровне отдельных групп объектов, а не только на уровне всего массива агентов.

2. Возможность использования исходных данных статистики только за предшествующий период, а не за несколько периодов (как в случае использования регрессионных зависимостей). Однако следует отметить, что в таком случае требуется значительно больше исходных данных для прогнозирования: необходима статистика по всем группам с различными сочетаниями отличительных признаков.

Два описанных выше подхода могут быть использованы при наличии достаточного объема статистики и возможности выделить устойчивые зависимости между факторами влияния и конечными результатами. Однако такой подход может быть неэффективен при моделировании условий, с которыми прежде не приходилось сталкиваться (например, кризисные ситуации).

В этом случае становится целесообразным использование для определения логики поведения агентов целевых функций, определяющих поведение объектов модели в различных ситуациях. Такой подход, например, необходимо использовать при определении логики производственных агентов, в силу отсутствия статистики необходимой для формирования базы знаний и необходимости оценки последствий развития в различных условиях.

Базовая структура моделируемого в системе производственного агента определяется выражением (2):

$$E = \langle C, Pot, Beh, P, D, Str \rangle, \quad (2)$$

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.

На основании проведенного анализа современного состояния теории и практики прогнозирования экономического развития определены преимущества и недостатки подходов на основе производственных функций, увязывающих экономическое развитие с динамикой факторов производства и моделирования производства на основе моделей межотраслевого баланса.

Главный недостаток моделей, использующих производственные функции, состоит в том, что эти модели абстрагируются от модели соответствия производимой продукции платежеспособному спросу.

К методологическим ограничениям межотраслевого баланса относится невозможность в достаточной мере описывать воспроизводственный аспект хозяйственного развития, в частности, распределение добавленной стоимости в отраслях на потребление и накопление. В отличие от моделирования на основе производственных функций, где все внимание уделяется добавленной стоимости, здесь основное внимание уделяется промежуточному потреблению. Модели таких факторов экономического роста, как трудовые ресурсы и технический прогресс, зачастую отсутствуют.

Учитывая описанные ограничения, выход найдем в комбинации нескольких подходов для моделирования производственных агентов (рис. 3):

1. Модель потребления производственного агента строится на основе данных межотраслевых балансов.

2. Производственные функции используются при построении функции потенциального выпуска.

3. Распределение ресурсов производственного агента и определение стратегии развития реализуется решением оптимизационной задачи или на основании экспертных данных.

Базовая структура моделируемого в системе агента-человека или агента-семьи определяется выражением (3):

$$S_i = \langle \{IP_i\}, SC_i, SBeh_i, SD_i, SStr_i \rangle, \quad (3)$$

где $\{IP_i\}$ – индивидуальные характеристики социального агента; SC_i – модель потребления социального агента; $SBeh_i$ – модель поведения (развития, эволюционирования) социального агента; SD_i – модель распределения ресурсов социального агента; $SStr_i$ – ресурсы и средства социального агента.

Структура модели поведения социального агента определяется выражением (4):

$$SBeh_i = \langle SCh_i, \{p_{1i}, p_{2i}, \dots, p_{ni}\}, DM_i, BehM_i \rangle, \quad (4)$$

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

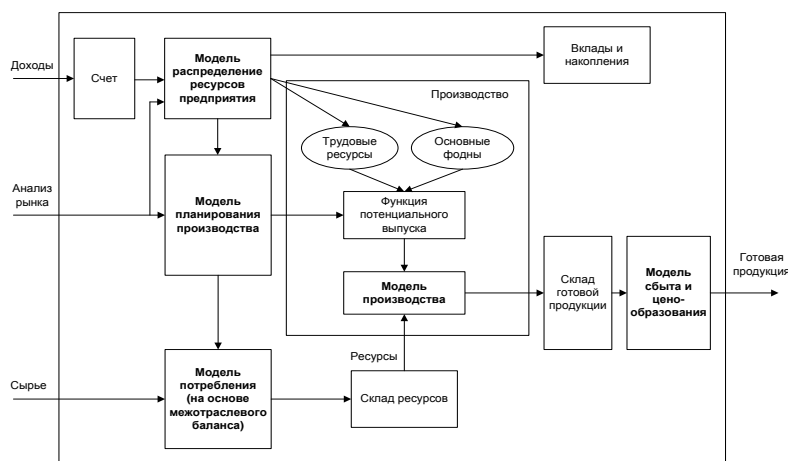


Рис. 3. Структура производственного агента

Модель поведения социальных агентов на каждой стадии жизненного цикла определяется экспертной системой (рис. 4):

$$SAExpSys = \{ \{ p_{1i}, p_{2i}, \dots, p_{ni} \}, \{ r_1, r_2, \dots, r_n \}, OM \}, \quad (5)$$

где $\{ p_1, p_2, \dots, p_n \}$ – вектор характеристик социального агента; $\{ r_1, r_2, \dots, r_n \}$ – вектор правил преобразования параметров агента; OM – машина вывода.

Применение имитационного моделирования при разработке экономических механизмов позволяет осуществлять проверку теоретических результатов и практических предложений по созданию новых управленческих стратегий и для совершенствования существующих экономических регуляторов. С помощью предлагаемой технологии возможно прогнозировать половозрастной состав населения, доходы населения, иммиграция/эмиграция, объемы потребления товаров и услуг, объемы импорта/экспорта по видам продукции, объемы производства товаров и услуг по отраслям, доходы городского бюджета по статьям доходов, показатели эффективности СП и др.

Результаты моделирования могут быть использованы для сравнения различных стратегий развития и поиска эффективных управленческих решений аналитиками, занимающимися стратегическим планированием, органов власти территориальных образований, а также коммерческих предприятий.

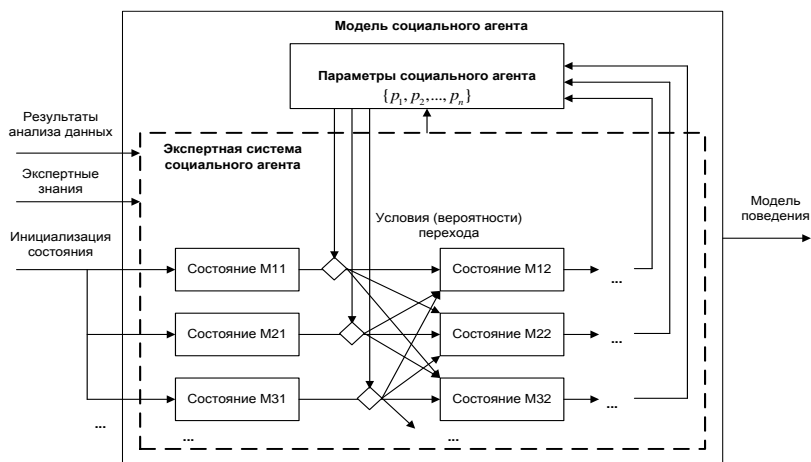


Рис. 4. Экспертная система социального агента

Таким образом, технология моделирования социально-экономической динамики муниципального образования на основе мультиагентного подхода может служить

инструментом комплексного анализа и прогноза развития ситуации в МО. Применение аппарата мультиагентного имитационного моделирования является целесообразным, так как многие из задач прогнозирования и анализа вариантов действий руководства, решаемых в рамках МО, можно решить только при условии детального описания моделей поведения конкретных субъектов экономики, что достигается в рамках агентного моделирования. Но в то же время и не отвергается классический подход к социально-экономическому моделированию там, где существует возможность обобщения предметной области, т.е. можно говорить о комбинации подходов.

Литература

1. **Бегунов Н. А., Клебанов Б. И., Москалёв И. М.** Технология прогнозирования развития муниципального образования с использованием имитационной модели // Журнал «Автоматизация и современные технологии» М.: Машиностроение. 2009, № 4. С. 39–45.
2. **Клебанов Б. И., Бегунов Н. А., Москалев И. М., Рапопорт И. А.** Использование результатов Data Mining в мультиагентных имитационных моделях // Научные труды международной научно-практической конференции «СВЯЗЬ-ПРОМ 2009» в рамках 6 международного форума «СВЯЗЬ-ПРОМЭКСПО 2009». Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2009. 572 с. С. 38–41.