

## ИНВЕСТИЦИОННЫЕ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ В ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЭКОНОМИКИ

В. П. Романов, Д. Н. Яковлев, А. В. Лельчук (Москва)

Существующие методы моделирования экономических ситуаций базируются на микро-, макроэкономических моделях и обработке информации в информационных системах. Современные информационные системы в области экономики планирования ресурсов предприятия (ERP), управления взаимосвязями с клиентами (CRM), управления по показателям эффективности (CPM), управления цепочками поставок (SCM) и другие обеспечивают информационную поддержку бизнес-процессов отдельных предприятий (фирм). Большинство существующих информационных систем дают на выходе статическую картинку состояния дел, в крайнем случае, обеспечивают текущий и краткосрочный прогноз по ограниченному количеству параметров, что не позволяет предсказать последствия принятых в текущий момент времени решений. Преимущество применения мультиагентных моделей состоит в том, что они позволяют оценить последствия различных вариантов экономических решений на протяжении некоторого периода времени в будущем. Первые опыты с агентами в экономике включали небольшое количество агентов (10–1000), имели простые правила решений, были использованы для проверки некоторых предположений обычной неоклассической модели. Вновь разрабатываемые мультиагентные системы (MAS) также обычно разрабатываются в рамках неоклассической модели и пытаются максимизировать экспоненциально дисконтированную сумму полезностей за время их жизни.

Создавая агентную модель, разработчик конструирует виртуальный мир экономики, населенный различными типами агентов; устанавливает начальные условия мира; далее он запускает модель мира и наблюдает за развитием процесса во времени; ход событий в мире определяется действиями агентов, однако, разрешается вмешательство разработчика в ход событий в созданном им виртуальном мире.

В настоящее время существует сравнительно небольшое число проектов мультиагентных систем в области экономики. Но даже в тех моделях, которые имеются, например Agent-Based Computational Economics (ACE) [1], такие процессы, как увольнение сотрудников, изменение квалификации и повторное устройство на работу не находят отражения. Тем самым, важнейший элемент, связанный с обучением (университет), повышением квалификации или переподготовкой, оказывается исключенным из кругооборота экономических процессов. В работах [2, 3, 4] рассмотрены мультиагентные модели рынка ценных бумаг, однако в них не рассматриваются функции производства товарных рынков. Различные аспекты агентно-ориентированного подхода к моделированию макроэкономики рассмотрены в [5].

При выполнении настоящего исследования авторы исходили из предположения, что основной движущей силой развития экономики является постоянно изменяющийся совокупный спрос экономических субъектов (агентов), и эффективность экономики во многом определяется тем, насколько номенклатура и объем производства товаров отражают потребности потребителей, а также насколько динамика изменения объема производства соответствует динамике изменения спроса [6, 7, 8]. В работе предпринимается попытка отобразить влияние различных факторов на эффективность виртуальной экономики и, в первую очередь, на решения, принимаемые на предприятии по распределению получаемой предприятием прибыли между заработной платой работникам, расширением или сокращением производства, накоплениями на развитие объемов производства. Все эти параметры определяются инвестиционной стратегией предприятия.

Цель проекта – проанализировать с помощью моделей виртуальной экономики следующие взаимосвязанные процессы:

- влияние спроса на объем производства;
- возможность расширения объема производства предприятия в зависимости от стратегии распределения прибыли;
- зависимость макроэкономических показателей модели от уровня налогообложения и инвестиционной стратегии предприятия;
- влияние роли государства и налоговой политики на макроэкономические показатели;
- зависимость доли занятого населения от инвестиционной стратегии предприятий, уровня налогообложения, стоимости обучения в университете.

Модель реализована в среде AnyLogic [9] и включает следующие классы агентов (рис. 1).

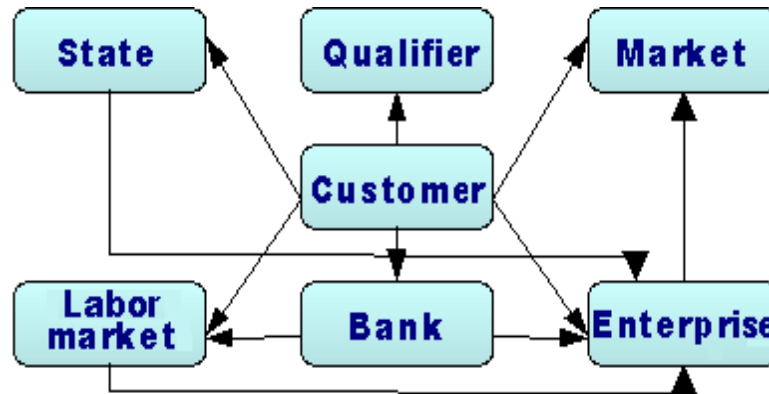


Рис.1 . Классы агентов модели

#### Функции агентов и их взаимодействие

- CUSTOMER выступает в модели в ролях: работника (employed), безработного (unemployed), обучаемого (student), клиента банка (client), покупателя на рынке товаров (buyer);
- ENTERPRISE выступает в ролях: участник рынка товаров (seller), клиента банка (client), налогоплательщика (taxes\_provider), работодателя;
- MARKET организует обмен товарами между предприятиями и покупателями, регистрирует совокупный спрос и совокупное предложение, и формирует равновесную цену на основании торгов
- STATE собирает налоги с предприятий и выплачивает пособия по безработице безработным;
- BANK организует денежные потоки между участниками модели;
- LABOR\_MARKET регистрирует вакансии, имеющиеся на предприятиях, и информирует о них безработных,
- QUALIFIER (учебное заведение) проводит обучение работника, желающего получить новую степень (degree) или квалификацию (qualification), за определенную плату.

Объем статьи не позволяет рассмотреть все аспекты поведения агентов в данной модели, поэтому кратко рассмотрим модели поведения только классов CUSTOMER (потребитель, или индивид), ENTERPRISE (предприятие) и QUALIFIER (учебное заведение). Некоторые особенности модели описаны в [10].

#### Исходные данные, на которых выполнялось моделирование

Количество участников модели задается перед стартом и может изменяться в процессе. Начальный объем производства задается случайным образом, в дальнейшем объем производства зависит от спроса и определяется производственной стратегией предприятия и спросом на каждый из видов продукции. Начальное богатство индивидов

задано случайным образом по равномерному распределению. Стартовый капитал предприятий распределяется случайно по Парето. Уровень налогообложения (3 налога) задан в соответствии с действующими ставками в РФ.

### Модель поведения потребителя

В начальный период времени перед первым приходом на рынок каждому клиенту выдается начальный набор товаров  $(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$  с качеством  $q^0$ .

Потребитель приходит на рынок, выделив для покупок в такт  $t$  количество средств  $w_t$ . На рынке он просматривает прайс-лист, отсортированный по цене в убывающем порядке, и выбирает из него те элементы, цена которых меньше или равна  $w_t$ . Выбранные товары индивид помещает в свой список товаров, которые он в состоянии приобрести (также отсортированных по убыванию цен).

После этого потребитель вычисляет значение функции полезности  $U(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0, t^0, q^0)$  для совокупности товаров, которые он выбрал. Индивид делает шаги последовательно по каждому направлению и определяет приращение функции полезности. Полученные приращения значений функций полезности при движении вдоль каждой из координат нормируется по отношению к цене товара в соответствующих координатах. Пользователь выбирает тот товар, который дает максимальное приращение полезности при минимальности стоимости.

Функция полезности имеет вид:

$$U(x_1, x_2, \dots, x_n, t, q) = U(x, t, q) = (A \prod_{i=1}^n x_i^{\alpha_i} e^{-\beta_i t + k \Delta_i}) q, \quad k \in Z \quad (1)$$

где  $x_i$  – количество  $i$ -го товара (в денежном выражении);  $t$  – время;  $q$  – переменная, характеризующая качество товара ( $0 < q < 1$ );  $\beta_i$  – скорость изнашиваемости товара;  $\Delta_i = -\ln \epsilon / \beta_i$  – время, за которое товар изнашивается до значения  $\epsilon$ .

Фактически потребитель решает проблему методом покоординатного спуска.

### Модель поведения предприятия

Предполагается, что агент предприятия действует в условиях совершенной конкуренции.

В модели все предприятия производят одинаковый набор товаров, часть из которых составляет предметы первой необходимости (продукты питания, одежда), часть – предметы второй необходимости (мобильные телефоны) и часть – предметы роскоши (автомобиль, коттедж). В модели в качестве производственной функции используется функция Кобба-Дугласа, и задача максимизации прибыли формулируется как:

$$f(x_1, \dots, x_n) = p_0 \prod_{i=1}^n x_i^{\alpha_i}, \quad (2)$$

где  $p_0$  – цена выпускаемой продукции;  $p_i$  – цена  $i$ -го вида ресурса;  $x_i$  – объем  $i$ -го вида ресурса, используемого для выпуска единицы продукции, при условии что

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i < 1; \quad \sum_{i=1}^n p_i x_i = V; \quad \alpha_i \geq 0.$$

В модели предприятие пытается найти оптимальный объем производства с учетом соотношения между общим доходом и общими издержками.

Предприятие располагает набором вариантов инвестиционных стратегий. В зависимости от прибыли, полученной на данном такте  $t$  работы модели, предприятие может принять решение:

- о прекращении производства товара, не приносящего прибыли;

- продолжить выпуск, увеличив/уменьшив объем производства в пределах допустимой производственной мощности предприятия;
- о расширении производственной мощности за счет:
  - собственных средств;
  - привлекаемых кредитов.

Если в течение определенного периода прибыль отрицательна, предприятие

- пытается покрыть убытки, используя денежный резерв;
- продает часть производственной мощности;
- объявляется банкротом и выбывает из модели.

Если предприятие сокращает объем производства, то в соответствии с производственной функцией оно увольняет часть рабочих. И наоборот, в случае увеличения объема производства, предприятие размещает список вакансий на рынке труда, благодаря чему индивид, бывший ранее безработным, может получить работу.

Если индивид является безработным, он просматривает список вакансий на рынке труда (LABOR MARKET) и сравнивает их со своей квалификацией и уровнем. Если в списке имеется вакансия, соответствующая его квалификации и уровню, он может заключить контракт о трудоустройстве с данным предприятием (при этом он будет включен в список на заработную плату и в случае приобретения акций также на получение дивидендов). С целью увеличения уровня заработной платы он может повысить свою степень, если она не является степенью максимального уровня, воспользовавшись услугами учебного заведения (QUALIFIER), заплатив требуемую сумму. В результате этого через некоторый период времени увеличивается его уровень и возрастает уровень его оплаты. Если в списке вакансий рынка труда нет его квалификации, он может приобрести новую квалификацию, воспользовавшись услугами учебного заведения.

Предприятие реализует свои инвестиционные стратегии, стремясь устранить дисбаланс между спросом и предложением на рынке, как это показано на рис. 2. На рисунке показана кривая изменения спроса на рынке (demand) и кривая изменения предложения (supply).

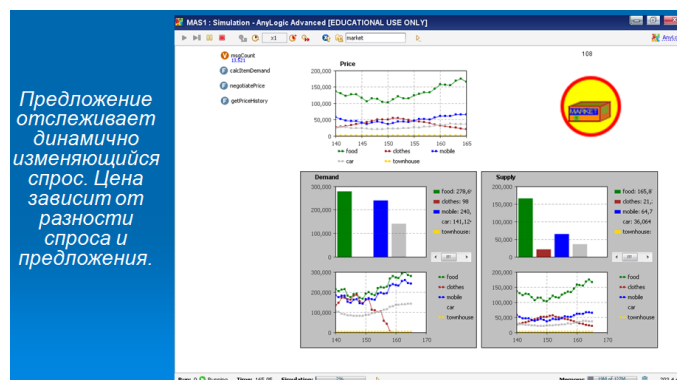


Рис. 2. Спрос, предложение и цены на рынке

На рис. 3 показан объем нереализованной продукции предприятия и объем неудовлетворенного спроса.

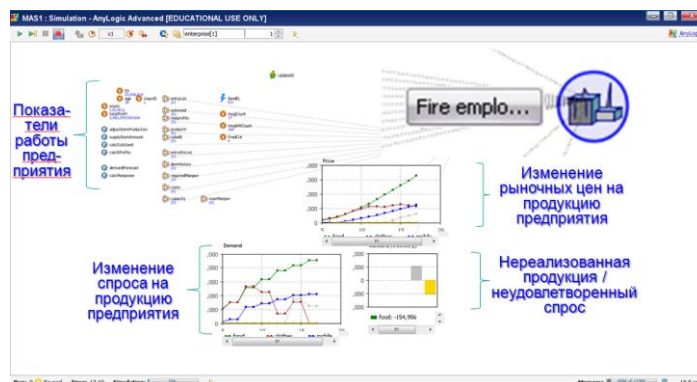


Рис. 3. Динамика основных показателей предприятия

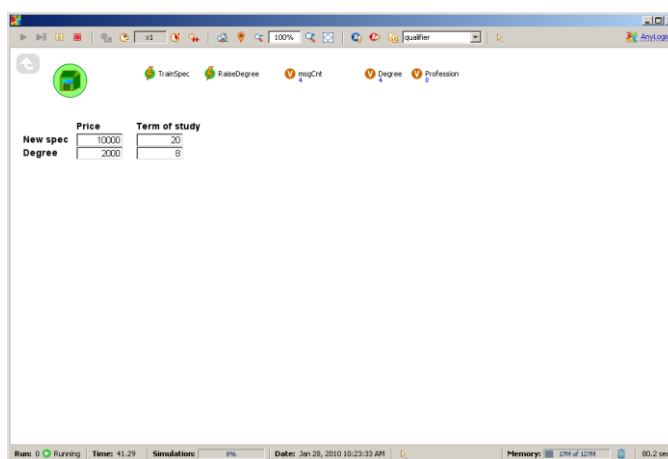


Рис. 4. Основные параметры учебного заведения

Агент QUALIFIER моделирует деятельность высшего учебного заведения по подготовке и переподготовке кадров. Агент ведет реестр специальностей, по которым осуществляется подготовка, присваивает разряд, квалификацию, а также регулирует размер оплаты, взимаемой с индивида за обучение. Индивид регистрируется у QUALIFIER, оплачивает обучение и через определенное время QUALIFIER-ом производится соответствующее изменение параметров агента. Срок обучения может регулироваться пользователем. Список специальностей, разрядов согласовывается с предприятиями.

### Выводы

- Введение нового класса агентов в модели позволило исследовать, каким образом зависит уровень незанятого населения от параметров агента переобучения (QUALIFIER), а именно – стоимости, пропускной способности и ассортимента предоставляемых образовательных услуг.
- В отличие от модели ACE в данной модели эффективная инвестиционная стратегия следует вслед за изменяющимся спросом и предусматривает как расширение производственных мощностей производства товаров, так и сворачивание производства не приносящих прибыль продуктов. Отсутствие накоплений и вложений, предназначенных для расширения или регулирования объема производства, приводит к выбытию предприятия из модели.
- Вне зависимости от начального распределения богатства по прошествии значительного количества тактов возникает резкая неравномерность его распределения между агентами-домохозяйствами.
- Модель обеспечивает вывод в графической форме основных показателей, характеризующих эффективность создаваемой виртуальной экономики, а именно:

- связь между объемом производства и спросом;
- возможность расширения объема производства предприятия в зависимости от стратегии распределения прибыли;
- отображение макроэкономических показателей модели, изменяющихся при изменении уровня налогообложения и вида инвестиционной стратегии предприятия;
- зависимость доли занятого населения от инвестиционной стратегии предприятий, уровня налогообложения, стоимости обучения в университете.

Впервые в модель экономики включен агент, выполняющий функции переподготовки, повышения квалификации работников. Кроме того, в модели имеются биржа труда, государство, предприятие, рынок. Модель позволяет сопоставить эффективность инвестиционной стратегии предприятий с уровнем благосостояния работников и уровнем занятости населения.

### Литература

1. <http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/hbintl.pdf>
2. **Romanov V., Naletova O., Panteleeva E., Federyakov A.** The Simulation of News and Insiders' Influence on Stock-market Price Dynamics in a Non-linear Model // Computational Finance and its Applications II. Second International Conference on Computational Finance / M. Constantino, C.A. Brebbia (eds.). Southampton, UK: WIT Press, 2006. P. 309–318.
3. **Romanov V., Slepov V., Badrina M., Federyakov A.** Multifractal Analysisband Multiagent Simulation for Market Crash Prediction // Computational Finance and its Applications III. Third International Conference on Computational Finance / M. Constantino, M. Larran, C. A. Brebbia (eds.). Southampton, UK: WIT Press, 2008. P. 13–22.
4. **Романов В. П., Налётова О. А., Бадрина М. В.** Современные мультиагентные модели финансовых рынков // Вестник Российской экономической академии имени Г. В. Плеханова, 2008. № 1 (19). С. 15.
5. **Бахтизин А. Р.** Агент-ориентированные модели экономики. М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2008. 279 с.
6. **Экономическая теория. Вводный курс. Микроэкономика: Учебник / под ред. И. Е. Рудаковой.** М.: ИНФРА-М, 2008. 576 с.
7. **Черемных Ю. Н.** Микроэкономика. Продвинутый уровень: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 844 с.
8. **Ширяев В. И., Баев И. А., Ширяев Е. В.** Экономико-математическое моделирование управления фирмой. Изд. 3-е, стереотипное. М.: КомКнига, 2007. 224 с.
9. **Карпов Ю.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 400 с.
10. **Романов В. П., Яковлев Д. Н., Бадрина М. В., Чиркова Е. А.** Мультиагентное моделирование экономики в среде AnyLogic // Ситуационные центры и перспективные информационно-аналитические технологии поддержки принятия решений: материалы научно-практической конференции / РАГС. 7-9 апреля 2008 года / под общ. ред. А. Н. Данчула. М.: Изд-во РАГС, 2009. С. 282–290.