

УДК 338 : 2
ББК 65.9 (2Р) 04

Э 402 **Экономическое развитие России: региональный и отраслевой аспекты.** Вып. 13 / под ред. Е.А. Коломак, Л.В. Машкиной. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2014. – 184 с.

ISBN 978-5-89665-292-2

На данных социологического опроса маятниковых мигрантов выявлены особенности пользования общественным транспортом в агломерации. Предложена модель распространения инновации, позволяющая интегрировать поведенческую экономику и агентно-ориентированное моделирование. Часть статей посвящена методическим вопросам использования модельного инструментария для анализа формирования и оценки эффективности реализации стратегий развития экономических субъектов. Рассмотрены и применены в расчетах различные типы экономико-математических моделей, в том числе: оптимизационные, на основе системной динамики, агентного моделирования и вычислимых моделей. На основе факторного анализа проведено сопоставительное сравнение динамики развития ряда стран Восточной Европы.

Чтобы устранить препятствие, мешающее использовать дискретные распределения, полученные путем квантования непрерывных распределений, предложено применять вероятностные интервалы Вексичко.

Сборник рассчитан на специалистов в области экономического анализа и экономико-математического моделирования.

УДК 338 : 2
ББК 65.9 (2Р) 04

ISBN 978-5-89665-292-2

© ИЭОПП СО РАН, 2014 г.
© Коллектив авторов, 2014 г.

ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ АРХИТЕКТУРЫ АГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ

Компьютерное моделирование на сегодняшний день является одним из эффективных методов изучения сложных систем. Имитационное моделирование применяется во многих областях (логистика и цепочки поставок, здравоохранение, рынок и конкуренция, производство, аэропорты, вокзалы торговые центры, склады и перевозки, финансы и управление активами, бизнес-процессы и системы обслуживания, железные дороги, оборона, IT-инфраструктура, стратегическое планирование и менеджмент, и многое другое), а также отраслях (промышленные продукты, ценные бумаги, финансы, потребительские товары, макроэкономика, технологии, здравоохранение, энергетика, логистика, социальные исследования, наука и образование, обслуживание клиентов, рынок труда, системы телекоммуникаций).

Для изучения различных областей и отраслей необходимо выбрать и использовать соответствующий подход к моделированию. Рассматривают следующие основные типы имитационного моделирования: дискретно-событийное, системная динамика и агентное моделирование.

Некоторые процессы могут быть проанализированы как последовательность отдельных значимых моментов – событий, в этом случае подход к построению имитационных моделей, в основе которого представление реальных действий событиями называется "дискретно-событийным" моделированием. Такой вид моделирования как системная динамика в основном используется в стратегических моделях для долгосрочного планирования, где события, люди и другие дискретные элементы представлены в моделях не как отдельные элементы, а как система в целом. Если же отдельные элементы модели имеют значение, то либо полностью, либо частично необходимо воспользоваться агентным или дискретно-событийным моделированием. Агентное моделирование можно определить, как *метод имитационного моделирования, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как это поведение определяет поведение всей системы в целом.* При разработке агентной модели, задаются параметры агентов

(это могут быть люди, компании, активы, проекты, транспортные средства, города, животные и т.д.), определяет их поведение, помещает их в некую окружающую среду, устанавливает возможные связи, после чего запускает моделирование. Индивидуальное поведение каждого агента образует глобальное поведение моделируемой системы¹.

Для оптимального выбора агентов в процессе агентного моделирования рассмотрим, предлагаемую авторами данной работы, классификации агентов по различным критериям, представленную на рис. 1.

Определение среды функционирования агента

Прежде всего, необходимо определить среду функционирования агентов. К примеру, для замкнутых сред может быть построено конечное исчерпывающее описание, и функционирующие в таких средах агенты могут обладать полным знанием о среде и ее свойствах или получить эту информацию в процессе своего взаимодействия со средой. Трансформируемые среды могут изменять свои характеристики и реакции на действия агентов в зависимости от тех действий, которые агенты совершают в среде. Вид математического аппарата, позволяющего описать поведение агента в соответствующей среде, и является мерой его интеллектуальной сложности (или разумности).

Специфика перехода с макроуровня на предприятие

При моделировании социально-экономических систем наиболее эффективные методологии – агентная и системно-динамическая. Это обусловлено использованием соответствующих подходов экономической теории. Наибольшее развитие получила неоклассическая экономическая школа, которая исследует экономику с помощью предельных величин. Такие модели представимы в виде систем дифференциальных уравнений и, следовательно, соответствуют методологии системной динамики.

Поведенческая экономика – альтернативный подход к изучению экономики, который исходит из положения ограниченной рациональности, заключающегося в том, что экономический субъект не всегда соблюдает максимально рациональный вариант

¹ <http://www.anylogic.ru/agent-based-modeling>

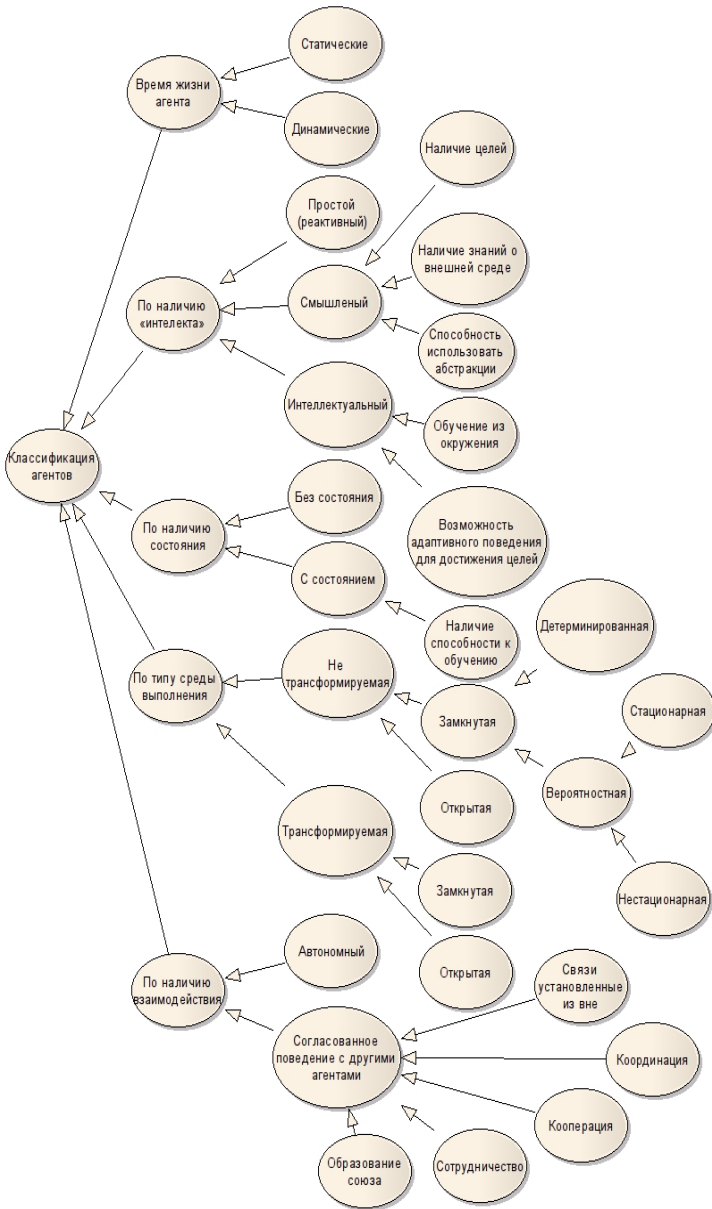


Рис. 1. Классификация агентов

поведения, а останавливается на одном из относительно приемлемых. В таком случае поведение этого субъекта можно описать алгоритмически. Для моделирования подобных процессов используется агентная методология.

Таким образом, созданная на основе совмещения различных подходов модель будет использовать системную динамику на высоком уровне абстракции (для описания поведения макросистем или среды для исполнения агентов), агентное моделирование – на низком (для описания поведения отдельных экономических агентов).

Специфика применения агентного моделирования в различных областях

В качестве примера использования агентного моделирования можно рассмотреть потребительский рынок. В динамичной, конкурентной и сложной среде рынка выбор покупателя зачастую зависит от индивидуальных особенностей, врожденной активности потребителя, сети контактов, а также внешних влияний, которые лучше всего описываются с помощью агентного моделирования.

Ошибочно полагать, что агентное моделирование применимо только для решения задач коммуникативного характера. Задачи, связанные с логистикой, производством, цепями поставок или бизнес-процессами, также решаются с помощью агентного моделирования. Например, поведение сложной машины может быть эффективно смоделировано отдельным объектом (агентом) с картами состояний, описывающими ее систему таймеров, внутренних состояний, разного рода реакции в различных ситуациях и т.д.¹ Подобная модель может быть необходима для воссоздания технологических процессов на производстве. Участники цепочки поставок (компании-производители, оптовые торговцы, розничные продавцы) могут быть представлены как агенты со индиви-

¹ Campbell-Kelly M. The Development and Structure of the International Software Industry, 1950–1990 // Business and Economic History. – 1995. – Vol. 24, No 2. – P. 73–110.; Ивлев В.А., Попова Т.В., Павлов Л.Н. Реорганизация АСУ промышленных предприятий // Компьютер ПРЕСС. 1997. Июль. С.236–244;

APICS – The Educational Society for Resource Management [Electronic resource] / [USA] : [S.1], 2003. - Electronic data. - Mode of access: <http://www.apics.org>.

дуальными целями и правилами. Агенты могут также быть проектами или продуктами в пределах одной компании, при этом обладать собственной динамикой и внутренними состояниями, конкурировать за ресурсы компании.

Процесс моделирования агентов

Моделирование предполагает описание всех элементов системы в виде объектов, наделенных вектором состояния элемента и функциями, описывающими реакцию элемента на текущее состояние системы, то есть свойствами и поведением в терминах объектно-ориентированного подхода. Предлагается следующий метод построения таких моделей, основные этапы которого, связанные с анализом элементов системы, могут быть сформулированы следующим образом:

1. Описание всех элементов системы в виде уникальных объектов различных типов с присущими им характеристиками. Все элементы системы, следуя принципу инкапсуляции, представляются в виде объектов, наделенных свойствами и поведением (то есть вектором состояния элемента и функциями, описывающими реакцию элемента на текущее состояние системы).

2. Классификация элементов системы с построением их иерархии. Все объекты, составляющие систему, классифицируются таким образом, чтобы они организовали естественную иерархию. Формально данная процедура подразумевает выделение общих частей векторов состояния или функций у объектов различных типов. В случае их наличия создается более общий тип объектов, а исходные типы объектов становятся его подтипами. Такой подход, основанный на иерархичности систем, позволит сократить работу по описанию различных подтипов, которое по принципу наследования базируется на описании родительских типов.

3. Выделение функций, отвечающих за автономное изменение состояния элемента. Поведение элемента системы, не связанное с окружающей средой, и все реакции, результат которых не зависит от других элементов системы, представляется в виде функций, преобразующих вектор состояния объекта.

4. Выделение функций, связанных с взаимодействием элемента с окружающей средой, – поведенческих функций. Все изменения элемента, связанные с другими элементами системы (их реакцией), делегируются специальной системе взаимодействия,

которой предоставляется достаточный набор данных о данном элементе в виде запроса – вектора, формируемого поведенческой функцией.

5. Определение необходимой информации, достаточной для описания внешних взаимодействий агентов, то есть формирование минимального интерфейса, позволяющего использовать единообразный способ коммуникации при взаимодействии агентов. Следуя принципу полиморфизма, формируется единый интерфейс у объектов для обеспечения работы системы взаимодействия, которая по запросу к любому объекту должна получать единообразный набор данных, используемых для удовлетворения (исполнения или отклонения) всех возможных действий элементов системы с последующим соответствующим изменением их состояния.

Предлагается определенная архитектура объектно-ориентированных моделей (ООМ), обладающая достаточной универсальностью, что иллюстрируют примеры конкретных реализаций¹. Архитектура включает в себя три основных понятия: агент – заявка – стековое взаимодействие².

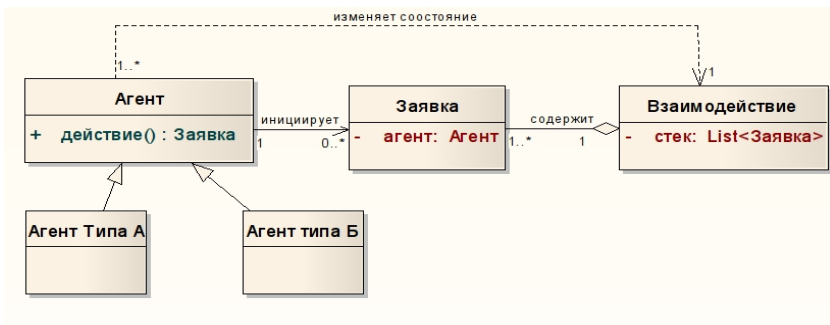


Рис. 2. Архитектура объектно-ориентированных моделей

¹ Попов, М.Д. Шапот // Открытые системы. – 1996. – No 1. – С. 60–68.

Pendse Nigel. OLAP applications [Electronic resource] / [U.S.]: Optima Publishing Ltd., 2003. - Electronic data. - Mode of access: <http://www.olapreport.com/Applications.htm>.

² А.А. Стеряков. Агентное моделирование на базе заявочно-стековой архитектуры взаимодействия:

http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2013/2013_6_1038_1044.pdf

В системе, макросостояние которой характеризуется вектором $s(t)$, для каждого отдельного типа элементов строится модель каждого агента, характеризующаяся вектором состояния.

Первая (в дальнейшем – функция преобразования состояния агента) отвечает за независимое от других элементов системы изменение состояния агента, то есть вектора состояния (или его части), на каждом временном шаге. Данная функция определяет автономность агента.

Вторая (в дальнейшем – поведенческая функция агента) формирует вектор параметров, который будем называть заявкой и который используется для осуществления взаимодействия агентов в системе. Таким образом, поведенческая функция определяет реакцию элемента системы на внешнюю среду.

Выбор оптимального количества агентов

Для повышения эффективности функционирования агентной модели требуется оптимально рассчитать количество агентов. Количество агентов суть количество объектов в многоагентной системе, и если модель представлена большим количеством агентов, то время расчета такой модели может значительно превысить предельно допустимые значения и затруднить исследовательский процесс вводя значительное ограничение на запуск повторных экспериментов. Авторами предлагается следующий алгоритм выбора оптимального количества агентов. В основе все также лежит объектно-ориентированный подход (ООП). Все агенты зачастую являются отражением объектов реальной системы. Каждый объект принадлежит определенному классу (множеству агентов со сходными параметрами). Соответственно агенты можно отнести к определенным классам. Максимальное количество агентов для одного класса будет соответствовать количеству объектов реальной системы. Для уменьшения количества агентов внутри класса можно рассмотреть множество агентов принадлежащих классам эквивалентности – множество агентов со сходными параметрами, задав один из них, можно считать, что заданы и все остальные (остальные наборы агентов будут иметь тот же результат или несущественно отличаться). Класс эквивалентности агентов — это множество агентов, задав различное количество которых результат моделирования соответствует одному и тому же результату. То есть, если мы выполним два эксперимента, изменив только коли-

чество агентов внутри одного класса эквивалентности — то получим один и тот же результат. В терминах ООП класс эквивалентности агентов можно представить, как новый тип (класс) агента соответствующий группе агентов из одного класса эквивалентности. То есть взаимодействие многоагентной системы с данным новым агентом будет эквивалентно взаимодействию с группой агентов, количество которых соответствует объектам реальной системы.

Выбор среды моделирования

Благодаря таким системам как Anylogic при моделировании можно комбинировать все типы моделей. В AnyLogic разработчик может гибко использовать различные уровни абстрагирования и различные стили и концепции и смешивать их при создании одной и той же модели. AnyLogic включает в себя графический язык моделирования, а также позволяет пользователю расширять созданные модели с помощью языка Java. Графическая среда моделирования AnyLogic включает в себя следующие элементы: – Stock & Flow Diagrams (диаграмма потоков и накопителей) применяется при разработке моделей, используя метод системной динамики. – Statecharts (карты состояний) в основном используется в агентных моделях для определения поведения агентов. Но также часто используется в дискретно-событийном моделировании, например, для симуляции машинных сбоев. – Action charts (блок-схемы) используется для построения алгоритмов. Применяется в дискретно-событийном моделировании (маршрутизация звонков) и агентном моделировании (для логики решений агента). – Process flowcharts (процессные диаграммы) основная конструкция, используемая для определения процессов в дискретно-событийном моделировании.

Совокупность указанных выше преимуществ позволило Anylogic стать своеобразным стандартом бизнес-моделирования во многих транснациональных компаниях.

Специфика моделирования для процессов рынка и конкуренции

Моделирование рынка помогает решать различные задачи:

1. разработать долгосрочную стратегию маркетинга. Стратегия фирмы, определяющая какую продукцию организация должна вы-

пустить на рынок через N лет, на какую рыночную нишу она должна быть нацелена, к какой ценовой категории относиться и т.д.;

2. разработать среднесрочную стратегию маркетинга. Когда известно, что компания собирается производить, изучен рынок, на который ориентирована продукция, необходимо понять, как фирма будет продавать (например, выбор ценовой политики), чтобы достичь намеченных целей;

3. осуществить прогнозирование продаж и спроса. Выбор рыночной стратегии фирмы должен опираться на данные об объеме продаж и спросе на товары и услуги компании, а для этого требуются достаточно точные инструменты прогнозирования;

4. наладить оперативное управление. Реальность всегда расходитсся с планом, поэтому, чтобы свести к минимуму расхождение, необходимо оперативно реагировать на изменяющиеся условия рынка.

Подходы к моделированию регионального продовольственного рынка

Уровень развития продовольственного рынка является определяющим фактором экономической и общественно-политической стабильности в стране, а продовольственная безопасность является составной частью национальной безопасности страны и один из важнейших приоритетов современного этапа развития России. Вопросы обеспечения продовольственной безопасности требуют комплексного рассмотрения и новых подходов к управлению и созданию условий для развития рынка продовольственных товаров.

При моделировании регионального продовольственного рынка необходимо учитывать его характерные особенности: не может рассматриваться как изолированная часть российского национального рынка и сырьевого рынка в частности, при этом его развитие в большей степени связано с природно-экономическими факторами, функционированием межрегиональных связей; зависимость внутреннего регионального рынка от развития межрегиональных и межгосударственных связей; зависимость от географического месторасположения по отношению к производящим и потребляющим регионам страны, наличия транспортных путей сообщения, влияющих на уровень развития межрегиональных связей по ввозу и вывозу продукции; спрос во многом вызван

сложившимися у населения традициями питания и его платежеспособностью, уровнем развития производства и переработки.

Агентные модели, применяемые на практике, очень разнообразны, поэтому почти невозможно создать универсальную библиотеку под любые нужды, а тем более полностью автоматизировать разработку модели. Существуют, однако, некоторые подходы моделирования агентных систем.

По нашему мнению, для моделирования деятельности предприятий на продовольственном рынке необходимо использовать многоагентную модель, где каждый участник будет представлено агентом со следующими свойствами:

Наличие внутреннего состояния	С состоянием и наличием способности к обучению
Время жизни агента	Динамическое создание и уничтожение агентов
Наличие «интеллекта»	Интеллектуальный
Тип среды выполнения	Трансформируемая, Открытая
Наличие взаимодействия	Сотрудничество

Для моделирования внешней среды и рынка в целом авторами предлагается использование комбинации модели с системной динамикой.

Для определения состояния и поведения агентов, соответствующих предприятиям можно выделить несколько ключевых типов агентов (классов), чтобы обеспечить значительно большую точность моделирования. Также для повышения точности можно параметризовать агентов начальным состоянием на основе статистической информации в момент времени, считающийся за точку отсчета при моделировании.

На первом этапе создания агентной модели продовольственного рынка предполагается сосредоточиться на таких важнейших секторах как рынок зерна, мяса, молока, масличных культур. При этом необходимо учитывать, что каждый указанный сектор может рассматриваться как отдельный рынок с множеством взаимосвязей, так и как часть общего агропродовольственного рынка региона, страны, мира.

В рамках данной работы предлагается общий алгоритм создания описания блоков модели: показатели масштаба и типа рын-

ка; показатели состояния, изменения и поведения рыночных цен; показатели товародвижения (товарооборот, товарный запас, товарооборачиваемость); показатели инфраструктуры рынка; показатели экономической эффективности участников рынка.

Для целей моделирования примем, что формирование и состояние внутреннего продовольственного рынка отражает текущее состояние мирового рынка, характеризует его наиболее важные краткосрочные тенденции и основные параметры. На фоне этой глобальной рыночной среды, должна раскрываться специфика национального рынка, а затем определяться краткосрочная перспектива его развития и групп региональных рынков.

Для конструирования агентной модели продовольственного рынка необходима соответствующая информационная база. На наш взгляд существующие базы данных могут составить необходимую базу для моделирования в рамках агентной модели только при условии совокупности использования показателей региональных органов статистики, Росстата и статистики международных организаций.

Анализируя различные источники исходных данных авторами предлагается использовать различные показатели для прогнозирования параметров основных продовольственных и сельскохозяйственных рынков, включая:

- данные по ценам реализации продукции производителями (зерно, мясо, молоко) по следующим странам: США, Канада, Мексика, Аргентина, Бразилия, Чили, страны ЕС и отдельно – Великобритания, Франция, Германия, Испания, Италия, Польша, Венгрия, Румыния, Финляндия, Швеция, Бельгия, Турция, а также: Иран, Ирак, Пакистан, Индия, Япония, Китай, Малайзия, Новая Зеландия, Австралия, Египет, Сирия, ЮАР, Израиль, Филиппины, (источники – МСХ США, Аглинк, Евромонитор, ФАО, Евростат);

- данные по потребительским ценам на индикативные товары по странам: США, Канада, Мексика, Аргентина, Бразилия, Чили, страны ЕС и отдельно – Великобритания, Франция, Германия, Испания, Италия, Польша, Венгрия, Румыния, Финляндия, Швеция, Бельгия, Турция, а также: Иран, Ирак, Пакистан, Индия, Япония, Китай, Малайзия, Новая Зеландия, Австралия, Египет, Сирия, ЮАР, Израиль, Филиппины, (источники – МСХ США, Евромонитор);

- данные по балансам по зерну, масличным, мясу и молоку (источники – МСХ США, ежемесячно по 38 странам мира);

– данные по стоимости фрахта, автоперевозок (АПК-Информ, US Wheat Associates);

– ценовая информация ФГУ «ЦРИ АПК», материалы ведомственных сборников «АПК России в 2002 – 2010 годах»; еженедельная информация от ФТС России по 21 позиции еженедельных данных и 109 позициям ежемесячных данных, совпадающих с позициями Росстата по ежемесячным формам «Цены производства товаров» и «Объемы производства товаров»; ежемесячная информация Росстата по объемам произведенной продукции и средним ценам производства по 109 позициям наблюдаемых товаров; еженедельная биржевая информация с РТБ, по интервенциям, ведущих мировых бирж (Агроспикер); ежемесячная информация с ведущих мировых бирж по агропродовольственным лотам (Агроспикер);

– данные мониторинга по ведомственным формам: «СОЖ»; «НПМОЛ»; «№1-К3» (сведения об оценке качества зерновых культур, ежемесячно с июля по декабрь); «№1-СХ, срочная» (сведения о наличии семян яровых культур, 6 раз в год: 01.03; 01.09; 15.09; 01.10; 15.10; 01.11); «№7-СХ» (сведения о ходе уборки урожая, сева озимых и вспашке зяби, 8 раз в сезон, с начала уборки еженедельно); «№10-СХ, срочная» (сведения о ходе сенокосения и заготовки кормов, 7 раз в сезон по уточнению); «№10-К-СХ, срочная» (сведения о качестве кормов, 7 раз в сезон по уточнению); «№3-СХ, срочная» (сведения о севе яровых культур, 6 раз в год, еженедельно с начала сева); «ЧПС» (сведения о поголовье племенного скота, ежеквартально); годовые: «№-СКП» (сведения о качестве реализованной животноводческой продукции); «№-ГП-16» (сведения о севе сельскохозяйственных и площадей, засеваемых элитными семенами, по состоянию на 01.07.); «№-ГП-14» (сведения об объемах производства и реализации семян элиты сельскохозяйственных культур).

В качестве одного из индикаторов модели предлагается ввести обеспеченность продовольствием. Для оценки степени обеспеченности продовольствием в некоторых странах используют такой показатель, как самообеспеченность продовольствием, который в Японии рассчитывается официальной статистикой как процентное отношение между стоимостью, созданной и потребленной в стране продовольственной продукции. В дальнейшем появились еще два метода подсчета – на основе энергетического содержания питания населения (в этом случае за исходные дан-

ные принимается не стоимость произведенной и потребленной продовольственной продукции, а число ее калорий) и на основе так называемых первичных калорий (в этом случае специально учитывается количество калорий в кормах, необходимых для производства продукции животноводства).

С учетом приведенных выше подходов к расчету показателя предлагаем дополнить список критериев оценки продовольственной безопасности коэффициентом продовольственной зависимости

$$K = И / П,$$

где И – объем импорта данной продукции, а П – объем потребности страны в данной продукции.

При этом могут быть выделены три уровня продовольственной зависимости:

- если коэффициент продовольственной зависимости находится в пределах от 0,1 до 0,2, то уровень продовольственной зависимости безопасный;
- если коэффициент продовольственной зависимости – 0,25–0,3, то уровень продовольственной зависимости предлагается называть пороговым;
- если коэффициент продовольственной зависимости выше 0,5, то уровень зависимости опасный.

Показатель продовольственной зависимости, по нашему мнению, весьма актуальна для стран с переходной экономикой, в связи с тем, что импортная экспансия в условиях либерализации внешней торговли привела к вытеснению с рынка собственных производителей в России. Так, по расчетам за счет импорта формируется около 40% продовольственных ресурсов России, а в Москве – 80%, в Казахстане – 35%, на Украине – 45%. Эти данные свидетельствуют о том, что перечисленные страны прошли пороговый уровень (0,3) продовольственной зависимости от внешнего рынка.

Многоаспектная картина развития продовольственного рынка находит отражение в большой совокупности разнообразных показателей и характеристик, определяемых действием различных факторов. К институциональным факторам и условиям формирования рынка продовольственных товаров следует отнести государственное вмешательство или отстраненность от процессов регулирования рынка. Несомненна сложность в нахождении управленческих новаций к такому объекту управления как продоволь-

ственный рынок. Разветвленная отраслевая и пространственная структура требуют глубокой проработки межотраслевых и межрегиональных взаимодействий данной системы.

Выводы

Таким образом, по нашему мнению, рынок продовольственных товаров следует рассматривать как открытую, неравновесную, саморазвивающуюся систему, в которой протекают сложные динамические и коммуникационные взаимодействия. В целях моделирования развития продовольственного рынка, на наш взгляд, рационально сосредоточиться на моделировании отдельных сегментов продовольственного рынка, связанного с производством и распределением важнейших продовольственных товаров.

При моделировании в среде Anylogic авторами предлагается создавать агентов с внутренним состоянием и наличием способности к обучению, при этом такой параметр как «время жизни агента» необходимо задать – как «динамичное создание и уничтожение агентов». Количество каждого типа агента необходимо регламентировать для каждого сегмента рынка, а также оценивать динамику создания новых агентов исходя из ретроспективного анализа количества предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности. Агенту необходимо предоставлять информацию по другим участникам рынка, используя его возможности к обучению. Необходимо также использовать ГИС-компонент системы для привязки крупных агропродовольственных предприятий к местности и для повышения качества иллюстративного материала при выгрузке результатов моделирования. В настоящее время предлагаемая модель находится в стадии калибровки и выполнения первых сценарных расчетов.

На наш взгляд, в условиях сложной макроэкономической ситуации использование возможностей моделирования на основе агентного подхода позволят не только конструировать новые сценарии развития продовольственного рынка, но и предоставят возможность проводить оценку эффективности предпринимаемых государством мероприятий по обеспечению продовольственной безопасности с использованием современных информационных технологий.