
**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

**АГЕНТО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА:
НЕ В ДЕНЬГАХ СЧАСТЬЕ?**

© 2009 г. В. А. Истратов

(Москва)

Благодаря появлению нового инструмента моделирования — агенто-ориентированного подхода — стало возможным создавать новый класс моделей, которые позволяют иначе взглянуть на привычные экономико-социальные процессы. Данная работа демонстрирует модель, выполненную в духе агенто-ориентированного подхода, для анализа вопросов, которыми занимается раздел экономики под названием “экономика счастья”. Автор анализирует зависимость между уровнем материального благополучия и настроением индивидов. Полученные выводы отчасти согласуются с проведенными ранее исследованиями других авторов.

1. ОБ АГЕНТО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЯХ

За 20–25 лет развития агенто-ориентированного моделирования учеными были достигнуты заметные успехи как в популяризации данного подхода, так и в его совершенствовании (Tesfatsion, Judd, 2006). Однако несмотря на то, что первой социально-экономической агенто-ориентированной моделью многие исследователи называют работу Т. Шеллинга (Schelling, 1969, p. 488–493), впервые увидевшую свет почти 40 лет назад и позднее неоднократно переиздававшуюся, до сих пор не выработано единого понятийного аппарата. Более того, не существует единодушного мнения даже в том, что называть агенто-ориентированной моделью. Одни авторы (например (Bonabeau, 2001, p. 7280; Axelrod, 1997, p. 27; Tesfatsion, 2002)) предъявляют шадящие требования к моделям: чтобы те могли называться агенто-ориентированными, система должна представлять собой набор автономных взаимодействующих сущностей (агентов). Другие исследователи, напротив, сужают определение. В.Л. Макаров (Макаров, 2006, с. 11) называет главным свойством агенто-ориентированных систем похожесть (однотипность) агентов. Н. Дженнингс считает, что у агентов должна быть цель, определяющая их поведение (Jennings, 2000, p. 277–296), а Дж. Эпштейн и Р. Экстелл (Epstein, Axtell, 1996, p. 5–7) выделяют пять свойств агенто-ориентированных моделей (впрочем, не все из них они считают обязательными). На наш взгляд, чтобы систему можно было называть агенто-ориентированной, достаточно наличия в ней некоторого множества взаимодействующих агентов. А дальнейшее деление моделей на подклассы можно проводить уже в рамках этого большого класса.

За последние годы стали заметней преимущества агенто-ориентированного подхода (прежде всего в общественных науках): агенто-ориентированные экономические модели позволяют представить экономику в виде результирующей деятельности большого числа агентов, независимо друг от друга принимающих решения в отношении своего жизнеобеспечения, трудоустройства, обмена ресурсами, общения и т.п. И как следствие, агенто-ориентированный подход делает возможным более глубокий анализ механизмов и структуры взаимоотношений между людьми за счет того, что эти взаимоотношения фактически становятся каркасом модели. Агенто-ориентированные модели позволяют уйти от работы с некими усредненными и обобщенными экономическими агентами (репрезентативный потребитель, совокупное домохозяйство, отрасль в целом и т.п.) в тех ситуациях, где это необходимо. В свою очередь, лучшее понимание взаимоотношений позволяет создать более гибкую модель, повышает надежность ее выходных данных.

2. МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Модель, о которой пойдет речь, относится к классу агенто-ориентированных моделей (в соответствии с большей частью упомянутых определений). Модель воссоздает некоторые процессы жизни человеческого сообщества с акцентом на ее экономическом аспекте.

Модель представляет собой набор взаимодействующих агентов — индивидов. Число агентов определяется экзогенно перед запуском модели и лимитировано лишь временем и вычислительными мощностями, которыми располагает исследователь, поскольку каждый эксперимент мо-

Таблица 1. Краткое описание свойств агента

АГЕНТ		
Имеет запасы: – денег – пищи – сил – информации	Обладает чертами: – впечатлительностью – жадностью – дальновидностью – терпением	Промежуточные характеристики: – усталость (энд.) – период остывания эмоций (экз.) – расход калорий (энд.) – прочие
Способен оценивать: – собственный опыт – индивидуальную ценность продукта – склонность к действиям		Общие свойства: – обладает эмоциональным состоянием – имеет цели в отношении каждого действия

жет оказаться весьма затратным по времени. С экономической точки зрения, модель является монопродуктовой. Агенты оперируют одним единственным продуктом – пищей.

Агенты прежде всего характеризуются запасами сил, денег, пищи и информации, а также личным отношением к действиям (называемым склонностью к действию), которые они способны осуществлять. Кроме того, агенты обладают рядом второстепенных характеристик, таких как горизонт планирования, степень жадности и проч. Краткое описание свойств агента приведено в табл. 1.

Принципиальное устройство модели поведения человека показано на рис. 1, где представлена укрупненная схема всех ключевых блоков модели. Стрелка 1 означает выбор агентом одного из девяти действий. Выбор осуществляется по формуле (1) (п. 2.1). Стрелка 2 указывает на то, что последствия выбора действия сказываются в первую очередь на самом агенте. Происходит это по следующим каналам:

1) через текущую склонность к действию, так как после его выполнения склонность к новому действию с большой вероятностью не останется прежней; характер этого изменения зависит от конкретного действия (динамика склонности к каждому действию принципиально различается), но в большинстве случаев выполнение действия приводит к обнулению текущей склонности к действию (п. 2.1);

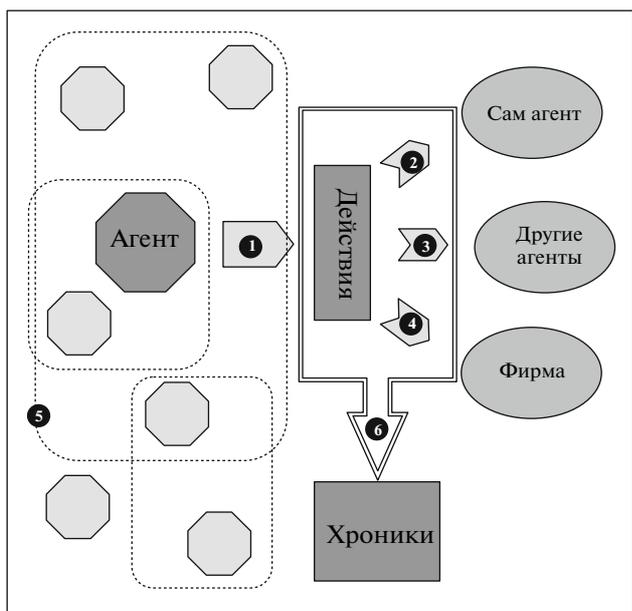


Рис. 1. Логическая схема работы модели.

2) выполнение действия может привести к смене настроения агента; расчет текущего настроения агента выполняется по схеме, представленной на рис. 2;

3) в результате совершения действия могут уменьшиться или возрасти запасы агента (в том числе сил, денег, пищи, информации);

4) результаты выполненного действия могут повлиять на личный опыт индивида; опыт агента формируется по схеме на рис. 3;

5) изменятся промежуточные характеристики, которые могут не представлять самостоятельного интереса (тем не менее они информативны – это не абстрактные технические переменные), но служат для расчетов более важных параметров; к ним относятся, например, усталость агента, ценность пищи и т.д.

Стрелка 3 показывает влияние, которое выбор индивида оказывает на других агентов. Влияние это может быть прямым и косвенным.

Прежде всего существуют действия (общение с друзьями, работа по дому), при выполнении которых либо необходим, как минимум, еще один участник (под действием “общение с друзьями” понимается сознательная деятельность, направленная на обеспечение контакта двух или более агентов с неделовыми целями. В этом случае “общение” состоит в походе в театр, кафе или в прогулке на природе, но не в болтовне с коллегами во время работы и не в выступлениях на конференциях), либо действия других агентов могут резко изменить склонность к действию у нашего агента (например, в случае действия “работа по дому”, если кто-то из агентов убрал квартиру, то у остальных склонность к данному действию тут же обнуляется).

Во-вторых, внутри групп (которые динамически формируются агентами (см. метку 5 на рис. 1)) происходит сближение склонностей к различным действиям (п. 2.3).

Наконец, в-третьих, в ходе действия “торговля” прочие агенты способны выступать в качестве продавцов пищи наравне с фирмами и внешней средой (п. 2.6).

Стрелка 4 отражает связь между выбором агента и деятельностью фирмы. Агент может выступать в качестве сотрудника фирмы, тем самым влияя на выпуск фирмы и на отпускные цены на произведенную пищу (дополнительно см. п. 2.4).

И последняя ключевая составляющая модели (см. метку 6 на рис. 1) – регистрация и сохранение всех изменений, происходивших с переменными модели. Получающаяся в результате этого летопись (“Хроника”) позволяет отслеживать динамику различных характеристик модельного общества.

Рассмотрим подробнее некоторые аспекты модели.

2.1. Время и активность агентов. Сначала обратимся к “физике” модели. Время в модели дискретно. Один такт времени соответствует часу реального времени. В каждый такт модельного времени перед индивидом встает задача выбора одного из доступных ему в данный момент действий. Поскольку ценность действий выражается количественно в действительных числах, то индивид, “просматривая” перечень действий, выбирает то, ценность которого наибольшая:

$$D_i = \arg \max TC_{ij}, \quad (1)$$

где D_i – номер действия, выбранного агентом i , а TC_{ij} – текущая склонность индивида i к действию j .



Рис. 2. Формирование настроения агента.



Рис. 3. Индивидуальный опыт.

Всего в модели определены девять различных действий (сон, принятие пищи, занятие хобби, работа, поход в магазин, уход за собой, работа по дому, общение с друзьями, релаксация), в равной степени доступных любому из агентов. В совокупности индивид тратит на эти действия около 90% всего своего времени (Time use survey: Japan, 2006; Time use survey: UK, 2005; Time use survey: USA, 2007). Это послужило основной причиной выбора данных девяти действий, поскольку именно таким образом для индивида закладывается дефицит времени, в результате чего время начинает выступать в качестве важного ресурса. В глазах любого отдельно взятого индивида каждое из действий имеет определенную ценность (текущую склонность к действию), выраженную количественно в особых единицах. Ценность эта не фиксирована (за исключением действия “релаксация”) и изменяется в зависимости от внешних обстоятельств или с течением времени.

Текущая склонность индивида i к действию j определяется по следующей формуле:

$$TC_{ij} = DC_{ij} + E_i,$$

где DC_{ij} – долгосрочная склонность i к действию j , E_i – функция совокупного эффекта прочих факторов, определенная для индивида i . Последнее слагаемое является уникальным для каждого действия, представленного в модели.

Функция совокупного эффекта прочих факторов имеет вид:

$$E_i = \begin{cases} (\max_j DC_{ij})S_j, & \text{если } S_j \geq 0, \\ (-\max_j DC_{ij})S_j, & \text{если } S_j < 0, \end{cases}$$

где S_j – суммарное влияние прочих факторов, \max_j – максимальное значение долгосрочной склонности к действию j . Мы полагаем, что шкала склонностей симметрична относительно нуля: $-\max_j = \min_j$.

Текущая склонность – ценность действия в глазах индивида в момент принятия решения, долгосрочная склонность – ценность действия в глазах индивида, которая определяется не ситуационной ситуацией, а характером, личными предпочтениями и социальным окружением агента. Долгосрочную склонность можно уподобить линии тренда функции текущей склонности.

Если оказывается, что совпадают ценности более, чем одного действия, то одно из этих действий выбирается случайным образом. После осуществления действия производятся изменения переменных величин, в том числе ценностей действий, эмоционального состояния и запасов. Затем наступает следующий такт времени, в котором индивид ведет себя, следуя тем же правилам.

Изменение запасов отражается на субъективной ценности этих запасов для индивида по принципу отрицательной обратной связи: чем больше запас, тем менее каждая единица запаса ценна для индивида. Дело в том, что каждое действие требует расхода некоторого количества сил и денег (в данном случае расход может быть как положительным, так и отрицательным, т.е. приходом). Поэтому изменение запасов как сил, так и денег влияет на выбор индивидом действий.

Например, если у индивида останется мало сил, то для него возрастет ценность сна, и он будет чаще выбирать это действие для восполнения потраченных сил. Если же сил более, чем достаточно, то индивид “забудет” на какое-то время про сон.

2.2. Эмоции. Важная черта модели – наличие эмоций у агентов. С точки зрения психологии эмоции являются одним из главных регуляторов человеческой деятельности. Еще З. Фрейд полагал (Фрейд, 2007, гл. 1), что целью любой психической активности является поиск удовольствия и избегание неудовольствия. При успешном выполнении желаемых действий индивид испытывает положительные эмоции, при невозможности их выполнить – отрицательные. Здесь мы во многом опираемся на теорию возникновения эмоций П.В. Симонова (Симонов, 2001, лекция 1). Соответственно, индивид будет стремиться успешно завершить желаемое действие, избегая провалов.

Кроме того, эмоции в модели призваны выполнить еще одну важную функцию – придать поведению человека менее рациональный характер. Это попытка обратиться к решению тех проблем, которые подмечал в своих работах Д. Канеман (Kahneman, 2003).

Принципиальная схема интеграции эмоций в модель выглядит, как показано на рис. 2. После успешного выполнения действий агент испытывает эмоциональный подъем. Поскольку в основу модели положена идея о том, что в каждый момент времени каждая склонность агента к любому действию имеет числовое значение, и агент выбирает действие, к выполнению которого он склонен в большей степени (на момент выбора), то было бы нелогично, если после выполнения

этого действия агент бы испытывал эмоциональный спад. Поэтому, как уже отмечалось ранее, любое успешно выполненное действие улучшает настроение агента. Расстраивается же агент из-за невозможности выполнить необходимые ему действия (не зависимо от причины, по которой ему это не удалось):

$$buf_t = buf_{t-1} + \varepsilon\phi_t,$$

где buf_t – накопитель, в котором хранится итоговая сумма эмоциональных эффектов. Для каждого агента эмоциональный эффект ($\varepsilon\phi_t$) рассчитывается и хранится отдельно

$$\varepsilon\phi_t = \begin{cases} a, & \text{если действие завершено успешно,} \\ -b, & \text{если действие провалено.} \end{cases}$$

Здесь a и b – экзогенные положительные параметры.

Под изменением настроения в схеме на рис. 2 понимаются два вида преобразований. Во-первых, изменяется собственно настроение:

$$mood_t = mood_{t-1} \pm 1.$$

Переменная $mood_t$ хранит текущее значение настроения агента, получившего некоторое числовое выражение (целыми числами от -2 до $+2$). Переменная $mood_t$ изменяется дискретно в случае переполнения накопителя buf_t .

Во-вторых, производится корректировка содержания переменной накопителя:

$$buf_t = buf_{t-1} - cor_t.$$

Переменная cor_t содержит поправку на влияние фактора времени (со временем эмоции остывают, и человек успокаивается), а также уменьшает переменную-накопитель, чтобы в следующий такт времени не было ее автоматического переполнения.

2.3. Группы агентов. Агенты в модели живут, формируя группы, во взаимодействии друг с другом. Во многих моделях под группами понимаются такие ненамеренно созданные общности, как, например, агенты, обитающие на одной территории (Epstein, Axtell, 1996), но не осознающие себя членами группы. Здесь речь идет о сознательном и намеренном членстве в различных группах. Вслед за некоторыми психологами (Андреева, 2005, с. 77) мы придерживаемся той точки зрения, что основным группирующим людей фактором является совместная деятельность.

В нашей модели агенты объединяются на основе схожести отношений к различным действиям. Если значения склонностей агентов к определенному действию попадают в один общий числовой промежуток, то агенты объединяются в группу:

$$A_i \in \begin{cases} \Gamma_{1j}, & \text{если } ДС_{ij} \geq bor, \\ \Gamma_{2j}, & \text{если } ДС_{ij} < bor. \end{cases}$$

Здесь A_i – агент i ; Γ_{1j} , Γ_{2j} – первая и вторая группы по действию j ; bor – параметр, определяющий границу между группами. Таким образом, агент может быть членом столько групп, сколько действий предусмотрено в модели.

Находясь в группе и выполняя совместные действия, агенты сближаются друг с другом. Сближение выражается в сближении значений их долгосрочных склонностей к действиям, а также количества информации, которым располагают агенты:

$$ДС_{ij}(t) = ДС_{ij}(t-1) + \frac{T_{ij}(t) - ДС_{ij}(t-1)}{M_{ij}(t-1)},$$

где M_{ij} – масштабирующая функция, T_{ij} – точка схождения долгосрочных склонностей всех агентов, входящих в одну и ту же с агентом i группу для выполнения действия j .

Масштабирующая функция имеет вид:

$$M_{ij} = \begin{cases} |N - ДС_{ij}|, & \text{если } |N - ДС_{ij}| > 1, \\ 1, & \text{если } |N - ДС_{ij}| \leq 1, \end{cases}$$

где N – значение нейтральной склонности к действию.

2.4. Фирмы. Помимо агентов, олицетворяющих людей, в модели представлены и организации. Главное и самое очевидное их различие — отсутствие у организаций личностных характеристик (таких как черты характера, эмоциональное состояние, персональные пристрастия и мотивация), которые мешают принимать математически рациональные решения. В этом смысле организации гораздо больше соответствуют термину *homo economicus*, чем отдельные индивиды. Организации представлены фирмами, производящими единственный продукт, — пищу. Как очевидное следствие разделения на такие типы в модели существует занятость, хотя и представленная несколько в ином свете, чем обычно.

У индивида есть генетически заложенная потребность работать — трудолюбие (говоря языком модели — долгосрочная склонность к труду), уровень которого в модели варьирует в зависимости от ряда факторов, в частности от уровня доходов и размеров кошелька индивида. Связь — обратно пропорциональная: чем меньше индивид имеет и зарабатывает, тем больше он стремится работать, чтобы повысить свой материальный уровень. При фиксированной цене на труд (предполагается, что речь идет о краткосрочном периоде) индивид может выбирать лишь уровень занятости. После того как все индивиды определятся, работать им или нет в следующий такт времени, мы получаем численность занятых на следующий период. После того как следующий период завершится, перед индивидами вновь возникает выбор: работать им или заняться другими делами. Оплата труда в модели почасовая и происходит после каждого часа работы, предоставляя индивиду возможность сверхгибко (гораздо более гибко, чем позволяют большинство профессий в реальной жизни) регулировать объем своей профессиональной деятельности.

Поскольку акцент в модели сделан на отдельных индивидах, то представляется нецелесообразным на данном этапе углубляться в описание поведения фирм. В связи с этим фирмы представлены вполне традиционным образом: у каждой фирмы есть производственная функция, которая определяет количество выпускаемых продуктов питания (в модели фигурирует лишь один товар — пища)

$$Y_t = AL_t^\alpha.$$

Здесь Y_t — выпуск в момент времени t ; L_t^α — предложение труда в момент времени t ; A — параметр, отражающий поведение всех прочих производственных факторов (включая капитал, который мы считаем постоянным на горизонте работы модели); α — традиционный параметр функции Кобба–Дугласа, отражающий эластичность выпуска по затратам труда.

Параметры функции — экзогенные величины. При фиксированной стоимости ресурсов (в краткосрочный период) фирме несложно подсчитать свои расходы. И заложив некоторую норму прибыли (в модели это экзогенный параметр), она может определить цену единицы товара следующим образом:

$$P_t = \frac{COSTS_t rr}{Y_t}.$$

Здесь P_t — цена единицы товара; $COSTS_t$ — совокупные издержки на момент времени t ; rr — норма прибыли, которая является экзогенно заданной. По этой цене она и предлагает пищу покупателям-индивидам.

В отличие от индивидов фирма не умеет покупать и перепродавать чужой товар для получения прибыли.

2.5. Внешний мир. Кроме того, в модели есть внешний мир, который технически представлен ценой на товар — пищу. Под внешним миром понимается совокупность общественно-экономических структур и отдельных индивидов, которые имеют непосредственное отношение к производству и распространению товара, но при этом имеют лишь отдаленное отношение (или не имеют его вовсе) к группе моделируемых агентов. Например, это могут быть производители, распространители и потребители в других странах или дальних регионах России. И в силу этой отдаленности нам важно лишь то, что они предлагают возможность приобрести товар, но не принципиально, каким образом они эту возможность реализуют.

2.6. Торговля. В итоге мы получаем три класса потенциальных контрагентов (агенты, фирмы, внешняя среда), которые могут быть вовлечены в процесс торговли ресурсом.

Как и в традиционных математических моделях обмена, индивиды в данной модели обладают возможностью накапливать запасы товара (пищи) и денег. При этом индивиды отнюдь не связаны условиями (согласно внутримодельным условиям) потреблять весь приобретенный товар. Если ценность товара падает в глазах агента, а запас оказывается большим, то индивид может

распродать излишки. Схема этой торговли показана на рис. 4.

Во время торговли при расчете суммы сделки ключевую роль играет концепция переноса ценности с действия на предмет. Механизм модели устроен таким образом, что чем больше желание индивида совершить то или иное действие, тем выше он ценит предмет (товар), необходимый для действия. Поскольку рассматриваемая версия модели является однопродуктовой, то и речь в ней может идти только об одном товаре – пище. Поэтому ценность пищи для индивида непосредственно связана с его желанием поесть. Строго говоря, у ценности пищи есть и вторая составляющая – рыночная цена пищи. Имеется в виду, что индивид может извлечь выгоду, не только потребив товар, но и попытавшись его реализовать по рыночной цене

$$C_i^e = \alpha \text{СИЦ}_i + (1 - \alpha) \text{ОИЦ}_i. \quad (2)$$

Здесь C_i^e – ценность единицы товара для агента i ; СИЦ_{*i*} – субъективно измеряемая ценность, ОИЦ_{*i*} – объективно измеряемая ценность, α – параметр, определяющий соотношение между объективно измеряемой ценностью (ОИЦ) и субъективно измеряемой ценностью (СИЦ). Именно в ОИЦ скрывается та составляющая ценности, которая вытекает из возможности перепродажи товара.

Субъективно измеряемую ценность мы получаем из данных о текущей склонности агента i к соответствующему действию (в данном случае ценности еды соответствует действие – “принятие пищи”)

$$\text{СИЦ}_i = \text{ТС}_i.$$

Объективно измеряемая ценность, в свою очередь, пропорциональна денежной значимости продукта. Денежная значимость продукта складывается из средней цены на рынке и понесенных затрат на приобретение продукта (если они имели место):

$$\text{ДЗ}_i^e = \gamma p + (1 - \gamma) \bar{p}.$$

Здесь ДЗ_i^e – денежная значимость пищи для агента i ; p – цена продукта, по которой он приобретен; \bar{p} – средняя рыночная цена на момент вычисления; γ – весовой параметр.

Наконец, параметр α из уравнения (2) пропорционален текущей склонности к действию:

$$\alpha = \text{ТС}_i / 100.$$

Тем самым подразумевается, что чем больше потребность агента в продукте, вызванная необходимостью выполнить действие, тем меньше внимания он будет обращать на коммерческую ценность продукта.

Механизм переноса ценности работает и в другую сторону, т.е. с предмета на действие. Так, в случае с покупками, чем выше ценность пищи, тем сильнее потребность индивида отправиться в магазин за покупками.

Вообще говоря, механизм переноса ценностей используется в модели достаточно широко, поскольку позволяет осуществлять перенос не только с действия на предмет и наоборот, но также с предмета на предмет (например, с пищи на деньги). В общем виде механизм позволяет обмениваться ценностями всех предметов, у которых есть ценность. Так, была предусмотрена воз-

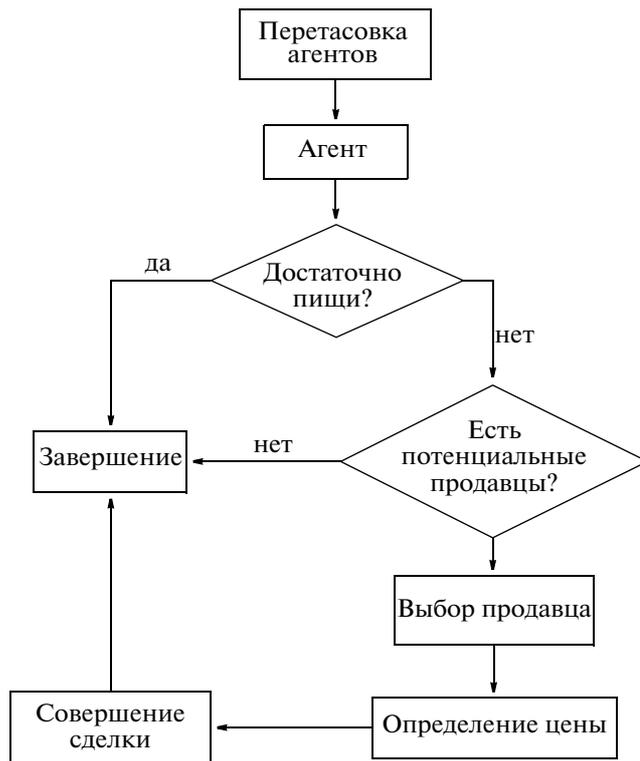


Рис. 4. Процесс торговли.

можность (не используемая в данной реализации модели) переноса ценностей с людей на предметы и наоборот, а также с людей на действия и наоборот — по своеобразному треугольнику: человек—действие—предмет.

У индивида в модели есть два потенциальных источника денег: работа и продажа товара. Неиспользуемые запасы денег хранятся “под матрасом”. В силу того, что рассматривается краткосрочный период, мы предполагаем, что индивиды не несут тут же каждый полученный рубль в банк или в инвестиционный фонд. В модели это выражается в том, что процент на денежные остатки индивидов не начисляется.

2.7. Опыт. Некоторые идеи для данной модели почерпнуты из теории ожиданий. По отношению к каждому действию у индивида возникают определенные надежды на результат. Базируются они на опыте выполнения индивидом соответствующего действия (Kahneman, Thaler, 2006). Ожидания в модели могут подстегнуть желание индивида выполнить то или иное действие, а могут, наоборот, — охладить его пыл. Индивид запоминает результаты предыдущих действий, но в памяти остаются далеко не все результаты. Принципиальная схема этого механизма показана на рис. 3.

В схеме на рис. 3 используются уже знакомая переменная “эф”, а также три другие: m — продолжительность периода (в тактах модельного времени), на основании которого агент формирует свой опыт, “рез” — значение результата действия и k — число экстремальных значений эмоциональных состояний. Нижние индексы cp и t при переменных “эф” (“эффект”) и “рез” (“результат”) соответственно указывают на среднее значение переменной и номер периода времени.

Механизм опыта во многом основан на теории (Kahneman, Wakker, Sarin, 1997), согласно которой в цепочке ощущений индивид лучше всего запоминает свои начальное и конечное состояния, а также состояния, которые сопровождались особенно сильными переживаниями (как положительными, так и отрицательными эмоциями). Все остальные события сливаются в восприятии индивида, причем не зависимо от их совокупной продолжительности.

Было решено соотнести ощущения с событиями в жизни агента и таким образом получить количественный механизм формирования индивидуального опыта. И здесь очень кстати приходится модельный аппарат эмоций: с его помощью мы можем определить эмоциональные пики — моменты наиболее сильных переживаний (используя терминологию математического анализа, речь идет о локальных экстремумах). После расчета пиков видно, результатами каких действий были спровоцированы наиболее яркие эмоции. Именно эти результаты и откладываются в памяти индивида. На их основании он впоследствии принимает решение о том, чего ему ждать по итогам каждого действия.

2.8. Хроники модели. Кроме того, модель ведет собственную летопись — сохраняет последовательность решений всех индивидов, начиная с первого такта времени, а также ключевые характеристики агентов (результаты действий, запасы, описание эмоционального состояния и т.п. — перечень может варьироваться исследователем). По сути это и является главным результатом работы модели. По этой летописи можно отслеживать “жизнь” и анализировать качественное состояние модельного общества, отслеживать тенденции его динамики. Исследователь получает возможность наблюдать за поведением агентов, их жизнью, делать замеры, невозможные в реальной жизни, и вносить любые изменения в образ жизни агентов, многие из которых неприемлемы за пределами лаборатории.

Наряду с традиционными для экономической науки показателями (такими как личные денежные накопления, доход, запас товаров, цены и т.п.) модель оказывается способной отслеживать и специальные показатели, например удовлетворенность агентов своей жизнью. Более того, модель дает возможность статистически оценить взаимосвязь различных показателей между собой. Поэтому в условиях, когда экзогенные параметры являются качественными оценками реальных процессов в реальном обществе, модель предлагает любопытный угол обзора традиционных процессов.

3. ПРОВОДИМЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Поскольку модель реализована в MS Excel, то все эксперименты, равно как и обработка результатов, производились в среде MS Excel.

Подход, используемый в модели, позволяет нам исследовать традиционные для экономистов темы под различными углами зрения. Полученные к данному моменту результаты было бы некорректно называть окончательными, поскольку они могут потребовать уточнений и поправок. Однако некоторые результаты уже сейчас могут представлять определенный интерес.

С помощью этой модели мы решили провести эксперименты, чтобы попытаться ответить на весьма спорный и неоднозначный вопрос: могут ли деньги сделать человека счастливым? Но это — далеко не единственная сфера применения нашей модели.

В терминах модели “счастье” определяется как “настроение” индивида. Если большую часть времени у индивида хорошее настроение, значит, он счастлив, если плохое (или индивид в депрессии), то можно считать, что он несчастен. Впрочем, поскольку качественные показатели были выражены численно, то возможны и более тонкие интерпретации и сравнения. Настроение в модели задается дискретно целыми числами от -2 до $+2$ (-2 — депрессия, $+2$ — эйфория). Если в жизни индивида все хорошо, то настроение стремится в направлении $+2$, если у индивида появляются проблемы и срывы, то настроение устремляется к противоположному концу шкалы.

Итак, применительно к модельным экспериментам вопрос “могут ли деньги сделать человека счастливым?” превращается в две нулевые гипотезы: 1) счастье индивида не зависит от начального запаса денег и 2) счастье индивида не зависит от уровня его заработной платы.

Для проверки данных гипотез была проведена серия экспериментов. Каждый эксперимент состоял из 10 000 итераций (весь процесс вычисления модели делится на итерации или циклы, на каждом витке которого агенты ведут себя в соответствии с описанными выше правилами). Поскольку каждая итерация соответствует одному часу реального времени, то тем самым мы попытались заглянуть более чем на 1 год вперед.

“Население” модели в ходе каждого эксперимента составляло 20 индивидов. Мы остановились на таком числе участников, так как дальнейшее увеличение числа индивидов не улучшало объяснительную способность модели, в то время как затраты времени на проведение каждого эксперимента возрастали существенно.

Также в ходе всех экспериментов начальные значения долгосрочных склонностей индивидов по модулю не превышали 20, т.е. предполагалось, что ни у кого из них нет болезненно-маниакальной склонности или неприязни к тому или иному действию, которые бы мешали ему трезво оценивать ситуацию.

Где было уместно и возможно, мы использовали реальные статистические данные (в основном на стадии калибровки модели). В частности, для расчета стоимости пищи были взяты данные о средней стоимости продовольственной корзины в России на начало марта 2008 г., рассчитана цена 1 ккал на основании официальных данных и определена цена модельного продовольственного набора, который покупает индивид. Получилось, что средняя стоимость пищи, которую индивид потребляет за один прием (завтрак, обед или ужин), равна приблизительно 23.53 руб.

Для проверки первой гипотезы мы наделили индивидов различным начальным запасом денег. Наименьший запас был равен 1 руб., наибольший — 10 млн. руб. Здесь важно отметить, что при проверке первой гипотезы мы установили такой уровень заработной платы, который бы позволял индивиду при желании оплачивать свои расходы. Описывать проверку гипотезы с заработными платами, не покрывающими текущие расходы, представляется нецелесообразным, поскольку ответ очевиден. Таким образом, индивиды, обделенные изначально деньгами, могли заработать необходимые суммы, увеличивая число рабочих часов. Состоятельные же индивиды могли позволить себе не работать. Здесь важным оказывается условие, отмеченное нами выше: индивид не имеет сильных предпочтений в отношении действий, поскольку очевидно, что для отъявленного лентяя каждый дополнительный час работы будет приносить одни лишь мучения. Но мы исходим из более реалистичного положения, что человек спокойно принимает свою работу, если она приносит ему необходимые деньги.

Подведем итоги проведенных экспериментов: во всех случаях среднее настроение за период всех индивидов было хорошим. Мы не заметили существенных вариаций настроения в зависимости от начального запаса денег, которые бы не укладывались в рамки обычной волатильности параметров. Это подтверждает и коэффициент корреляции между величиной начальных запасов денежных средств и средним настроением агентов. Он составил всего 0.181. Однако в данном случае коэффициент корреляции формальный и потому — недостаточно информативный. Чтобы оценить разницу в уровне первоначальных денежных запасов и соответствующим приростом настроения достаточно познакомиться с данными табл. 2.

В отличие от начального запаса денег заработная плата определенно влияет на уровень ощущения счастья индивидом, но зависимость представляется не вполне очевидной.

Таблица 2. Зависимость настроения от размера начальных денежных запасов

Начальный запас, руб.	Среднее настроение	Число тактов времени в каждом настроении					всего тактов
		в эйфории	в хорошем	в нейтральном	в плохом	в депрессии	
1	0.9968	0	9968	32	0	0	10000
1000	0.9977	0	9977	23	0	0	10000
10000000	0.9984	0	9984	16	0	0	10000

Таблица 3. Зависимость настроения от размера заработной платы

Зарплата, руб.	Среднее настроение	Число тактов времени в каждом настроении					всего тактов
		в эйфории	в хорошем	в нейтральном	в плохом	в депрессии	
6	-1.9962	0	5	7	9	9979	10000
24	-1.9961	0	5	7	10	9978	10000
27	-1.993	0	5	7	41	9947	10000
29	-0.02403	0	6338.9	326	91.05	3244.05	10000
31.1	0.760725	0	9046.883	203.0417	60.51667	689.5583	10000
33	0.75524	0	8967.65	293.55	62.35	676.45	10000
35	0.856995	0	9374.85	181.2	83	360.95	10000
38	0.9619	0	9790	89	71	50	10000
39	0.687415	0	7119.15	2722.85	71	87	10000
40	0.801585	0	8110.85	1794.15	95	0	10000
50.6	0.98413	0	9887.3	66.7	46	0	10000
93	0.9968	0	9968	32	0	0	10000
1000	0.9988	0	9988	12	0	0	10000

Из табл. 3 и (рис. 5) видно, что при низкой заработной плате индивид чувствует себя несчастным (большую часть времени он пребывает в состоянии депрессии). Затем происходит резкое увеличение значения среднего настроения (с момента, когда индивид уже может позволить себе товар в необходимом количестве) до “хорошего”. И далее с ростом заработной платы настроение уже практически не улучшается.

Таким образом, мы видим, что до момента перелома тенденции (когда заработная плата не покрывает всех расходов индивидов) и после (когда заработная плата покрывает все расходы индивида) настроение индивида остается практически нечувствительным к изменениям заработной платы.

**Рис. 5.** Зависимость настроения от величины заработной платы.

Интересно выяснить, в какой мере полученные результаты соответствуют выводам, описанным в других работах. Здесь нельзя дать однозначного ответа. В настоящее время исследователи исходят из того, что характер зависимости во многом зависит от времени, на протяжении которого ведутся наблюдения (например (Diener, 1984, p. 542–575; Easterlin, 2001, p. 465–484; Frey, 2008, p. 27–43)). Так, если рассмотреть ситуацию в любой отдельный момент времени, то прослеживается положительная связь (с убывающей предельной отдачей) между доходом и ощущением уровня сча-

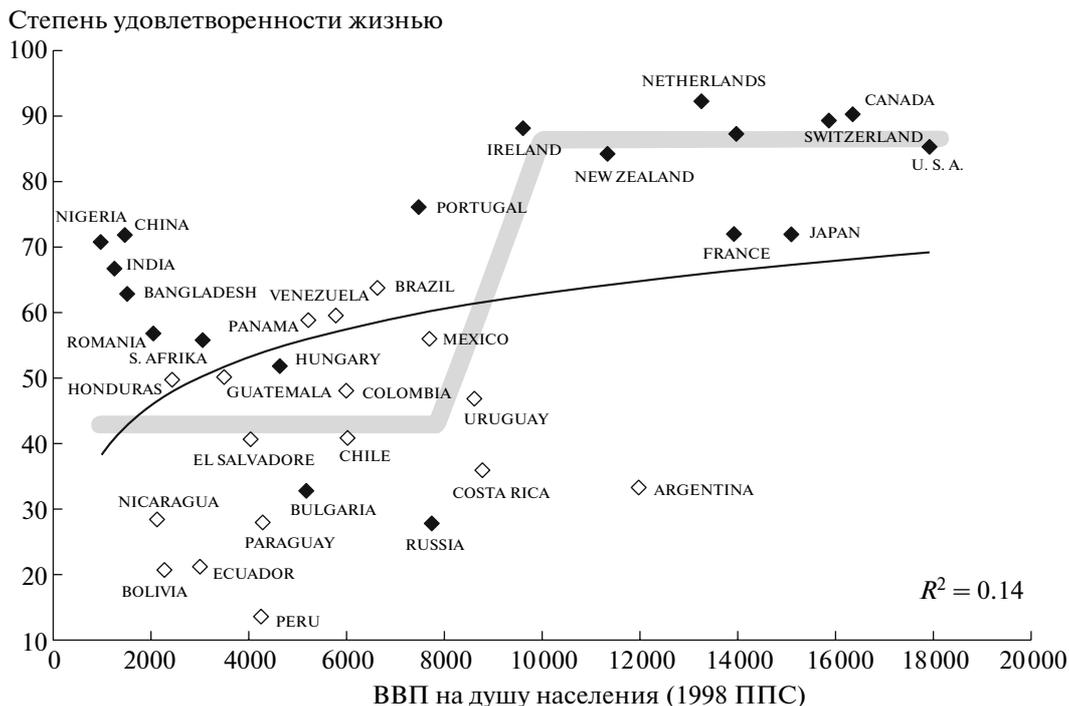


Рис. 6. Счастье и душевой доход в 1990-е годы.

стья. Однако, если взять данные за продолжительный период времени (например, 10 лет и больше), то оказывается, что интенсивность ощущения уровня счастья населения в среднем остается неизменным. Авторы объясняют эту двойственность влиянием изменения ожиданий людей (вслед за изменением их доходов) и привыканием к новым условиям жизни. Кроме того, не стоит забывать, что статистика о восприятии людьми ощущения счастья – вещь весьма специфическая; обращение с ней требует крайней осторожности. И также не стоит забывать, что понятие “положительная связь” может оказаться весьма расплывчатым. Например, Б. Фрей приводит в своей работе уравнение регрессии в качестве свидетельства в пользу положительной связи между доходом и счастьем, однако, когда он переходит к цифрам, картина приобретает несколько иные тона: “Коэффициент подразумевает, что удвоение дохода домохозяйства повышает удовлетворенность жизнью на 0.315 пунктов по 10-балльной шкале” (Freu, 2008, p. 33–36). Не говоря уже о том, что коэффициенты R^2 для всех приведенных регрессий не превышают 0.11.

В данной работе, в отличие от упомянутых работ других исследователей, используется иной подход: не от статистических данных к подходящим интерпретациям, а, по сути, модель сама генерирует статистические данные, которые некоторым образом соотносятся с наблюдениями.

Итак, в результате модельных расчетов получена S-образная зависимость настроения от дохода. Если предположить, что исследованные объекты располагались на одном и том же – правее зоны перегиба – участке графика, то, возможно, это послужит объяснением, почему на графиках долгосрочных трендов уровень ощущения счастья остается постоянным. Вместе с тем, благодаря зоне перегиба все же возникает явная положительная корреляция между уровнем доходов и средним настроением. Кроме того, если предположить, что зона перегиба функции не привязана к определенному участку оси и может скользить по числовой оси вправо и влево в зависимости от прочих обстоятельств, то возникает масса возможностей объяснить отмечаемую авторами парадоксальную двойственность.

Добавим еще, что К. Грэм (Graham, 2008) в своей работе привела интересную диаграмму, которую можно рассматривать как подтверждение выводов данной модели. На иллюстрации показано распределение стран по уровням душевого ВВП и ощущению счастья (рис. 6). Так вот, сама картинка позволяет предположить именно S-образную зависимость (жирная светло-серая ломаная), о которой идет речь в данной работе.

Отвечая же на заглавный вопрос: “Могут ли деньги сделать человека счастливым?” — кратко мы бы ответили: “Едва ли”.

В будущем мы бы хотели исследовать вопрос, в какой мере пребывание агента в коллективе влияет на его среднее настроение (т.е. на удовлетворенность жизнью). Также было бы любопытно попытаться отследить влияние на уровень ощущения счастья таких параметров, как ценностные установки агентов, и таких явлений, как ожидания и привыкание; попробовать “подружить” в рамках данной модели единовременные и долговременные оценки счастья.

Но модель, на наш взгляд, могла бы иметь и более широкое применение, чем только область вычисления уровня счастья агентов. В дальнейшем планируется совершенствовать и уточнять механизмы модели. Это позволило бы проводить расчеты традиционных экономических показателей (например, таких как ВВП, денежные доходы домохозяйств, уровень занятости и т.п.) и — как следствие — попробовать отследить взаимосвязи уже исследованных явлений и тех, которые будут добавлены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева Г.М.** (2005): Социальная психология. М.: Аспект Пресс.
- Макаров В.Л.** (2006): Искусственные общества // *Искусственные общества*. Т. 1. № 1. М.: ЦЭМИ РАН.
- Симонов П.В.** (2001): Лекции о работе головного мозга. М.: Наука.
- Фрейд З.** (2007): Толкование сновидений. По ту сторону принципа удовольствия. М.: Эксмо.
- Axelrod R.** (1997): Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences. In: Bonabeau E. (2001): *Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems*. Proc. National Academy of Sciences, 99(3) Simulating Social Phenomena, ed. R. Conte, R. Hegselmann, and P. Terna. Berlin: Springer.
- Diener E.** (1984): Subjective Well-Being // *Psychological Bulletin*. Vol. 95. № 3.
- Easterlin R.** (2001): Income and Happiness: Towards a Unified Theory // *The Economic J*. Vol. 111. № 473.
- Epstein J. M., Axtell R.** (1996): Growing Artificial Societies. Cambridge: MIT Press.
- Frey B.** (2008): Happiness: A Revolution in Economics. Cambridge: MIT Press.
- Graham C.** (2008): Economics of Happiness // *The New Palgrave Dictionary of Economics. Second Edition*. Eds. Steven N. Durlauf and Lawrence E. Blume. New York: Palgrave Macmillan.
- Jennings N. R.** (2000): On Agent-Based Software Engineering // *Artificial Intelligence*. Vol. 117.
- Kahneman D.** (2003): A Psychological Perspective on Economics // *The American Econ. Rev.* Vol. 93. № 2.
- Kahneman D., Thaler R.H.** (2006): Anomalies: Utility Maximization and Experienced Utility // *J. of Econ. Perspectives*. Vol. 20. № 1.
- Kahneman D., Wakker P.P., Sarin R.** (1997): Back to Bentham? Explorations of Experienced Utility // *The Quarterly J. of Econ.* Vol. 112. № 2.
- Schelling T.C.** (1969): Models of Segregation // *The American Econ. Rev.* Vol. 59. № 2. Papers and Proceedings of the Eighty-first Annual Meeting of the American Economic Association (May, 1969).
- Tesfatsion L., Judd K. L.** (2006): Handbook of Computational Economics: Agent-Based Computational Economics. Vol. 2. Amsterdam: North-Holland.
- Tesfatsion L.** (2002): Agent-Based Computational Economics Growing Economies from the Bottom Up. [Http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm](http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm).
- Time use survey: USA, 2007. Time spent in primary activities. [Http://www.bls.gov/news.release/atus.t01.htm](http://www.bls.gov/news.release/atus.t01.htm)
- Time use survey: UK, 2005. Time spent on main activity by age group with rates of participation. [Http://www.statistics.gov.uk/statbase/ssdataset.asp?vlnk=9497&More=Y](http://www.statistics.gov.uk/statbase/ssdataset.asp?vlnk=9497&More=Y).
- Time use survey: Japan, 2006. Results on Time Use for Japan. [Http://www.stat.go.jp/english/data/shakai/2006/ji-kan-a/zenkoku/zenkoku.htm](http://www.stat.go.jp/english/data/shakai/2006/ji-kan-a/zenkoku/zenkoku.htm).

Поступила в редакцию
09.09.2008 г.

Agent-Based Model of Human Behavior: Is Money Able to buy you Happiness?

V. A. Istratov

Thanks to the emergence of a new modelling tool — the agent-based approach — a new class of models became available to the modelers that let them have a different view of conventional socio-economic processes. This work presents an agent-based model that regards economic domain known as the economics of happiness. The author analyses correlation between well-being and state of mood of individuals. The obtained results partly correspond to research outcomes of the previous authors.