**Агентное моделирование**

Одно из наиболее полных определений агентов приводят Чарльз Макал и Михаэль Норт в работе “Tutorial on agent-based modeling and simulation”, согласно которым агент должен обладать следующими характеристиками:

* Агент является «идентифицируемым», т.е. представляет собой конечного индивидуума с набором определенных характеристик и правил, определяющих его поведение и правила принятия решений. Агент автономен и может независимо действовать и принимать решения по взаимодействию с другими агентами.
* Агент находится в определенной среде, позволяющей ему взаимодействовать с другими агентами. Агент может коммуницировать с другими (контактировать при определенных условиях и отвечать на контакт).
* Агент имеет определенную цель (но не обязательно целью является максимизация блага, как принято считать в классической экономике), влияющую на его поведение.
* и, наконец, в ряде моделей можно выделяется также способность агента к самообучению: агент гибок и обладает способностью самообучения с течением времени на основе собственного опыта. В ряде случаев агент может даже изменять правила поведения на основе полученного опыта.

Одну из первых агентных моделей по социально-экономической тематике, разработал Томас Шеллинг в 1970-ых гг. Позже результаты, полученные в ходе данного имитационного эксперимента были описаны в книге Т. Шеллинга «Micromotives and Macrobehavior» (1978). Шеллинг исследовал проблему расовой сегрегации в американских городах. Имитационное моделирование Шеллинг использовал для поиска ответа на вопрос, возможно ли формирование сегрегированного поселения даже в случае, если для людей в целом не характерны расовые предрассудки. Имитационная модель показала, что гетто могут образовываться спонтанно – без наличия целенаправленной политики властей города, а всего лишь вследствие взаимодействия индивидуумов.

В модели Т. Шеллинга было два класса агентов: черные и белые жители, которые проживают по соседству друг с другом. В качестве района города Шеллинг использовал аналог шахматной доски размером 64 клетки. Каждый агент оценивает своих непосредственных соседей , расположенных на примыкающих к нему клетках. Согласно заложенным Шеллингом правилам, каждый агент стремится поселиться в окружении, где превалируют агент того же цвета. Исходя из этого простого правила формируется модель поведения агента:

* *агент, который имеет только одного соседа, переедет, если это сосед другого цвета;*
* *агент, имеющих двух соседей не будет переезжать, если хотя бы один из них того же цвета, что и он;*
* *агент, проживающий по соседству от 3 до 5 человек, не будет переезжать, если хотя бы 2 из них будут его цвета;*
* *агент с соседями от 6 до 8 человек не будет переезжать, если хотя бы 3 из них будут одного цвета.*

В соответствии с такими нежесткими предпочтениями вполне возможно сосуществование равномерно распределенных черных и белых агентов. В этом случае система находится в равновесии и нет необходимости что-либо менять. Однако в реальности небольшие изменения происходят постоянно. Так и в модели Шеллинга, случайным образом несколько агентов (например, трое) удаляются с поля, тем самым нарушая равновесие . Как только они удалены с поля, находящиеся поблизости от них соседи этого же цвета осознают, что теперь баланс нарушен и решают перебраться на клетки, где они будут в окружении агентов того же цвета. Нетрудно предвидеть, что это запускает механизм самовоспроизводящей обратной связи, согласно которому остальные агенты также начинают приспосабливаться к изменившейся ситуации. Если агент не может найти себе комфортное положение, то он покидает город (поле) насовсем.

Интересно, что несмотря на тот факт, что каждый агент имеет довольно гибкую систему предпочтений соседей, которая не требует, чтобы все 100% были обязательно его же цвета, со временем эффект сегрегации начинает проявляться все более значительно. Спустя несколько итераций система достигнет состояния равновесия и в ряде случаев оно может проявляться в виде значительных эффектов сегрегации. Таким образом, система из агентов, поведение которых основывается на оценке исключительно локальной ситуации (прямых соседей), демонстрирует значительное изменение из-за самоорганизующихся процессов. Это и есть пример так называемого «возникающего поведения» системы, которое достаточно сложно (и зачастую едва ли возможно!) предугадать заранее: (макро)порядок возник из неорганизованного и неконтролируемого (микро)поведения агентов.

Дэвид Баттен, анализируя результаты экспериментов Томаса Шеллинга, отмечал, что даже незначительное изменение в правилах принятия решения агентами могло дать

совсем другой результат. Так, Шеллинг программировал своих агентов таким образом, что только каждый житель удовлетворен, если хотя бы 37.5% его соседей принадлежат к тому же классу. Интересно, что если снизить это требование до 33%, то изначальная система намного более стабильна и удаление с поля трех агентов не вызовет таких сильных изменений. Это наблюдение имеет важное значение для агентного моделирования: «возникающее» из поведения агентов поведение системы основано на механизме и правилах взаимодействия агентов и *даже небольшое изменение правил* – в модели Шеллинга правил миграции - *может привести к значительным изменениям* (данный эффект получил название *эффекта бабочки)*. Исследования Томаса Шеллинга получили широкую известность и способствовали активному распространению интереса к агентному моделированию. Как видно из примера с моделью Шеллинга, типовой подход к агентному моделированию заключается в моделировании агентов с определенными правилами поведения и принятия решений, на основании которых агент может действовать независимо и вступать во взаимоотношения с другими агентами. Изначально Шеллинг проводил свои эксперименты на основе доски и фишек, изображающих агентов, и лишь потом стал применять компьютерное моделирование. Со времен Шеллинга имитационное моделирование значительно продвинулось, что связано как с быстрым распространением мощных компьютеров, так и появлением соответствующего программного обеспечения.

В целом специалисты выделяют три стадии построения агентной модели:

1) *Определение границ модели*: какое явление/событие моделируется, каковы его рамки.

2) *Определение поведения/взаимодействия агентов*: разработка модели поведения/принятия решений агентом и его взаимодействия с остальными агентами.

3) *Разработка и апробация модели*, проведение анализа чувствительности.

Практически неограниченные возможности по программированию агентов дают возможность исследователю создавать при необходимости очень сложные модели, в которых в деталях можно отразить процесс принятия решений покупателями. Особо следует подчеркнуть, что агентное моделирование позволяет моделировать иррациональные моменты принятия решений, на которых акцентирует внимание поведенческая экономика (behavioral economics). В связи с этим имитационное моделирование становится мощным инструментом поддержки принятия решений для руководителя: например, перед проведением рекламной кампании заказчик может оценить ее потенциальный эффект на целевую аудиторию и приблизительно выявить потенциальную отдачу от вложенных средств и, соответственно, целесообразность данных затрат.

Однако несмотря на колоссальный потенциал данного вида моделирования, при разработке моделей очень важно грамотно сформулировать проблему и, исходя из этого, поставить задачу. А это требует высокой экспертизы и опыта – в противном случае «мусорные» данные на входе дадут такой же результат и на выходе. Для того, чтобы этого не произошло, модель необходимо разрабатывать, опираясь на накопленные в компании базы данных о поведении клиентов, их ценовых предпочтениях, мотивах выбора и т.п. К сожалению, на практике зачастую многие компании имеют очень условное представление об особенностях потребительских предпочтений и мотивации выбора клиентов. Так, например, в рамках переговоров по разработке имитационной игры для обучения персонала с одним из лидеров на рынке по продаже сотовых телефонов выяснилось, что у компании недостаточно данных для разработки имитационной модели. На ключевой вопрос – каким образом потребитель выбирает компанию для покупки сотового телефона – ключевые сотрудники компании (менеджмент среднего звена) затруднились дать ответ.

Между тем представляется, что знание мотивов выбора потребителя являются ключевыми для успешной работы на рынке. Например, если главным является фактор цены сотового телефона, то для успеха на рынке необходимо реализовывать программу лидерства по издержкам и продавать телефоны с минимальной наценкой. Если же определяющим фактором является репутация компании как надежного продавца, то это совсем другая стратегия. А возможно, что основным фактором при выборе компании покупки телефона является наличие близко расположенного к дому магазина или же просто консерватизм покупателя, уже совершавшего там хотя бы одну покупку. Без наличия этой информации вряд ли возможно разработать реалистичную агентную модель поведения покупателей на рынке, которая позволит тестировать эффективность той или иной стратегии развития компании.

Одним из интересных приложений агентного моделирования являются имитационные симуляторы бизнеса – т.н. микромиры (microworlds), в основе которых лежат имитационные модели, при помощи которых руководители среднего и высшего звена могут тестировать различные стратегии управления компанией.

**Сравнение системной динамики и агентного моделирования**

Системно-динамические модели состоят из петель обратной связи, которые формируют поведение системы. Данный вид моделирования полезен при выявлении важных переменных и установлении взаимосвязей между ними. В агентном моделировании базовой единицей модели является агент(ы), функционирующий в определенной окружающей среде. Каждый агент действует самостоятельно и взаимодействует с другими агентами на основе определенных правил. Результатом взаимодействия агентов становится поведение системы в целом.

«Структура (системы) диктует поведение», - утверждают специалисты по системной динамике: например, экспоненциальный рост, осцилляцию, превышение с последующим коллапсом и т.п. Под структурой понимается комбинация взимосвязанных потоков и накопителей. В агентном моделировании поведение системы формируется за счет правил поведения агентов, закладываемых исследователем. Следует отметить, что правила поведения и взаимодействия агентов могут гибко меняться, отражая способность агента к самообучению, что позволяет отразить феномен «возникаемого» поведения. Согласно Найджелу Гилберту, «возникаемое поведение формируется, когда взаимодействие между объектами на одном уровне приводит к возникновению объектов на другом уровне…т.е. феномен является «возникаемым», если для его описания требуются новые категории, которые не требовались для описания поведения элементов, лежащих в его основе». Как уже отмечалось, системная динамика фокусируется на моделировании макроуровня – системы в целом. Однако это не означает, что системная динамика может применяться исключительно к моделированию макроэкономики или глобальных социально-экономических процессов. Под понятием «макро» в данном случае имеется ввиду агрегирование моделируемых данных: например, в широко известной модели диффузии инноваций Фрэнка Басса (Bass diffusion model), Потенциальные Клиенты и Клиенты представлены в обобщенном виде - в виде накопителей, пополняемых или истощаемых потоками. Несложно воспроизвести модель Басса при помощи агентного подхода, но тогда общая ситуация в каждый момент будет складываться из суммы индивидуального поведения каждого агента. В этом случае мы программируем «микрообъекты», которые позволяют получить обобщенный результат (подход «снизу-вверх»).

Агентное моделирование имеет важное преимущество перед системно-динамическими моделями: возможность адаптации. Согласно Джону Холланду, адаптацию можно определить как *модификацию структуры модели с целью более эффективного действия в окружающей среде*. В системно-динамическом моделировании структура модели определена изначально и не может быть изменена в ходе имитационного эксперимента, т.к. структура модели фиксирована. Как отмечают Н. Шериз и П. Миллинг, тем не менее системно-динамические модели могут адаптироваться, если под адаптацией понимать не изменение структуры модели, а изменение в доминировании петель обратной связи. Например, S-образный рост вызван доминированием на первоначальном этапе петель положительной обратной связи, вызывающих экспоненциальный рост, который постепенно уступает балансирующим петлям обратной связи, стабилизирующих систему. Агентные модели позволяют успешно реализовать эффект адаптации в полном объеме: некоторые агентные модели позволяют проследить эволюцию агентов, во время которой агенты обмениваются «генами» детерминированным или случайным образом (т.н. мутации). В системной динамике источником нелинейности поведения системы является концепция аккумулирования, которая находит отражение в потоках и накопителях, ответственных за возникновение эффектов запаздывания. Не оспаривая данный тезис, агентное моделирование использует так называемые «события», которые могут вызвать изменения в поведении системы. Например, в модели Томаса Шеллинга изначальное равновесие (пусть и хрупкое) нарушалось, когда несколько агентов удалялись с поля, тем самым провоцируя серию изменений. Использование событий при моделировании представляется очень удобным, поскольку позволяет значительно усложнять модели.

Какой вывод можно сделать из выше сказанного? Значит ли это, что агентное моделирование более предпочтительно, чем системно-динамический подход? Безусловно, нет. И тот, и другой вид моделирования имеют свои плюсы и минусы, рассмотренные выше. Системную динамику сравнивают с «моделированием леса», тогда как агентное моделирование – с моделированием деревьев. Зачастую бывает сложно разработать детальную агентную модель, которая бы могла учитывать все причинно-следственные связи, влияющие на решение агента. В зависимости от типа проблем, с которым сталкивается исследователь, может быть целесообразно применять либо системно-динамический подход, либо агентный подход, или же и то и другое вместе.

Например, при моделировании динамики фондового рынка широкое распространение получило именно агентное моделирование, поскольку оно позволяет учесть как рациональные аспекты принятия решений по инвестированию на рынке, так и иррациональные моменты (например, «эффект толпы»), объясняющие формирование пузырей на рынке. При моделировании иных явлений, например, товарных рынков, которым свойственен эффект запаздывания, целесообразно использовать системную динамику.

Симбиоз системной динамики и агентного моделирования может быть полезен при моделировании *потребительских рынков*, когда требуется одновременный учет как макропараметров (например, динамика отрасли в целом), так и понимание микрофакторов, определяющих выбор потребителями той или иной компании. Так, отрасль и бизнес компании можно смоделировать при помощи системной-динамики, а поведение потребителей– при помощи агентного моделирования. В этом случае комбинация данных методов позволит создать уникальную по глубине проработки проблематики модель, которая сможет учесть все нюансы поведения потребителей, не теряя из виду общей картины. Разработка и применение подобных моделей на практике может помочь компании значительно повысить качество принимаемых решений и одновременно оптимизировать затраты, т.к. убережет от неэффективных и дорогостоящих решений.

Таким образом, комбинация системно-динамического и агентного моделирования может успешно применяться на практике, когда индивидуальное поведение агентов (людей, компаний и т.п.) формализуется посредством агентного подхода, окружающая среда (макроперспектива) - при помощи системной динамики.