

# **СИСТЕМА БАЗОВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ КАК ОСНОВА ДЛЯ ПРИКЛАДНОГО СОЦИАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Малков А.С.**

(Москва)

В работе рассматриваются проблемы моделирования социальных процессов. Подчеркивается практическая сложность выделения «чистых» процессов, которые, при невозможности эксперимента, могли бы служить его аналогом для выявления основных законов. Одним из путей решения данной проблемы видится построение системы базовых нелинейных динамических моделей, которые, будучи достаточно простыми, передавали бы некоторые аспекты социальных процессов. В случае удачного построения базовых моделей, на их основе можно было бы строить уже конкретные прикладные модели.

## **A SYSTEM OF BASIC DYNAMIC MODELS OF SOCIAL PROCESSES AS A FOUNDATION OF APPLIED SOCIAL SIMULATION**

**Malkov A.S.**

(Moscow)

The paper concerns the problems of mathematical modeling of social processes. We emphasize the complexity of selection of “clear” processes, which could be an analogue of the experiment, as it is often impossible in social media. Seemingly, one of the ways to solve this problem is to create rather simple nonlinear and dynamic basic models that if successful could form a foundation of latter concrete applied simulations.

Одно из основных достоинств нелинейной науки – умение «упаковывать» сложные структуры и процессы в одно-два нелинейных уравнения, при том, что сложность этих структур и

процессов сохраняется. Это свойство нелинейных моделей может и должно быть широко использовано при решении современных научных проблем, в том числе проблем моделирования социальных процессов.

На сегодняшний день в среде специалистов, изучающих социальные процессы уже сложились определенные, принятые у них методы исследования систем. Практически все они являются статистическими методами. Это понятно, поскольку в социальных науках пока не выявлены фундаментальные формальные законы и сейчас идет этап активного сбора и классификации эмпирических данных, а для этого и используются статистические методы. Однако, во-первых, опытных данных уже набрано достаточно много, и нужно делать следующий шаг, а для него сложились все предпосылки – появились методы (нелинейная наука) и средства (быстродействующие компьютеры, способные решать сложные нелинейные системы уравнений), во-вторых, даже используя статистические методы, прикладникам не всегда удается использовать их корректно. А это ведет к неверным заключениям и заведомо ошибочным гипотезам.

Для иллюстрации рассмотрим некоторые подводные камни. Специалисты-гуманитарии уже в достаточной мере овладели различными компьютерными программами, вычисляющими средние значения, корреляции, вариации и т.п., но, к сожалению, что в общем и понятно, мало кто из них глубоко понимает применимость этих вычислений. Мало кто из них, к примеру, знаком с понятием эргодичности, в то время как оно является центральным, когда речь идет о статистике нелинейных динамических систем. Для примера рассмотрим корреляционный анализ.

Одним из популярных приемов считается поиск корреляции между различными показателями. В случае наличия ненулевой корреляции обычно делается вывод о взаимозависимости между данными показателями. В случае близкой к нулю корреляции считают, что показатели независимы. Все это так, если корректно использовать эту науку. Однако существует ряд случаев, когда подобный подход недопустим и, более того, его использование ведет к тому, что складывается неверная научная картина явления. Выпускаются работы, декларирующие открытие неких

взаимосвязей, либо провозглашающие научно обоснованное отсутствие каких-либо связей, и эти работы начинают формировать научное мнение, на их основе строятся теории и заключения. А на самом деле у истоков всего этого лежит некорректное использование статистических методов.

В биологии хорошо известна классическая система «хищник-жертва». Это система двух нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax - Bxy \\ \frac{dy}{dt} = Cxy - Dy \end{cases} \quad (1)$$

где  $x$  – численность «жертв», а  $y$  – численность «хищников».

Очевидно, что в этой модели одна переменная существенно зависит от другой. Однако если просчитать эту модель на компьютере, получить временные ряды и посмотреть корреляцию  $x$  и  $y$ , то окажется, что ее значение равно небольшой отрицательной величине. На основании этого статистического факта можно сделать вывод о том, что, видимо, есть слабая обратная связь: чем больше  $x$ , тем меньше  $y$ , и наоборот. Это значит, что «чем больше хищников, тем меньше жертв». Звучит, в общем, правдоподобно. Но вот следующее из той же корреляции заключение «чем больше жертв, тем меньше хищников» - это уже что-то странное. Более того, при некоторых значениях  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  корреляция вообще почти нулевая. Если следовать логике статистического анализа, можно заключить, что переменные  $x$  и  $y$  вообще независимы. Но ведь это в корне неверно! В модели (1) они существенно зависят друг от друга и не от чего больше. В данном случае корреляционный анализ дает сбой в связи с тем, что взаимодействие «хищников» и «жертв» – *нелинейный динамический* процесс. Статические методы тут не работают и важно понимать это (мы ни в коем случае не говорим здесь о некомпетентности социологов вообще, а лишь обращаем внимание на данный факт тех из них, кто не имеет большого опыта работы с наборами данных).

Каким же образом, если не статистическим, анализировать

эти *нелинейные динамические* процессы? Здесь мы вплотную подходим к понятию *базовой нелинейной динамической модели* (одной из которых и является модель «хищник-жертва»). Эти модели строятся с тем, чтобы вскрыть какие-то фундаментальные законы развития системы, опираясь не на статистический подход, а на анализ режимов функционирования системы.

Поиск фундаментальных законов всегда был чем-то желанным и почетным, однако на этом пути лежит множество трудностей. Лишь с появлением компьютеров появилась реальная возможность работать с моделями социальных систем, проводить нужное количество экспериментов, свободно изменять параметры. Однако не так просто сопоставить модель и реальность. Создать в социальной системе идеальные внешние условия, избавиться от «шума» и «наводки» очень нелегко. Даже уже верно сформулированный фундаментальный закон трудно подтвердить. Ведь ни одно реальное явление не происходит ровно так, как предсказывает закон – всегда вмешиваются последствия работы других, еще неизвестных законов, а нередко и просто случайность. Это может привести к тому, что верная по сути формулировка не выдержит критики со стороны практиков и не найдет должного внимания и развития.

Однако есть некоторое количество косвенных признаков, по которым можно определить, что исследования на правильном пути и что найдено что-то фундаментальное. Если имеется система, обладающая малым количеством параметров, но показывающая нетривиальную динамику, несколько качественно различных режимов, то можно считать, что суть уловлена, а если количество качественно различных «аналогов» в реальной жизни больше, чем количество параметров в уравнениях, то тут можно уже с полной уверенностью утверждать, что получен объективный закон. Ведь известно, что, если взять большое количество параметров, то их всегда можно подогнать так, чтобы модельная кривая проходила через все экспериментальные точки. Для этого не нужно открывать законы, а нужно лишь взять параметров больше, чем количество этих точек и провести интерполяцию. А вот если параметров меньше, чем экспериментальных точек, то это уже не интерполяция (доступная даже компьютерам), а научное открытие.

Таким образом, задача фундаментальных исследований состоит в создании математических моделей с небольшим (и это важно) набором параметров, динамика которых соответствует большому набору качественно различных «аналогов» в реальности.

Необходимо пояснить, что понимается под словом «аналог». Поскольку, как было отмечено, реальная система всегда подвержена шуму и проявлениям еще неизвестных законов, что смазывает картину, то понятие соответствия «аналогу» уместно применять не в смысле точного численного соответствия цифр, полученных при моделировании, каким-то реальным статистическим данным, а в смысле динамического соответствия режимов функционирования модельной и реальной системы. В реальном процессе всегда можно выделить некоторые характерные для него режимы – рост, спад, стабилизация, колебания, насыщение, зарождение, коллапс и т.д. Они практически всегда являются следствием каких-то фундаментальных законов, лежащих в их основе. При этом шум и случайные возмущения обычно достаточно сильно искажают численные данные, но не меняют (и это существенный момент) режима функционирования системы. Таким образом, если выделить несколько различных режимов и создать модель их описывающую, то таким образом часто можно обойти проблему «шума».

*Нелинейная динамическая базовая модель* – это именно модель, описывающая некоторую идеализированную сложную систему, причем акцент ставится на простое описание набора различных режимов, имеющих аналоги в реальной системе. Базовая модель, если удалось корректно описать режимы, должна быть легко наращиваема до прикладной модели путем введения дополнительных уравнений, либо уточнения коэффициентов или с помощью интеграции с базовыми моделями, описывающими другие стороны сложной системы. Таким образом, речь идет о необходимости создания гармонично сконструированных, легко наращиваемых и уточняемых систем базовых динамических моделей. Они могут быть использованы впоследствии как составные части для создания моделей конкретных явлений и процессов.

В связи с нелинейностью базовых моделей их наращивание и

расширение должно происходить поэтапно. К сожалению, часто приходится сталкиваться с моделями, которые строятся «на глазок», вводятся десятки параметров и нелинейных членов, которые чисто формально называют «отвечающими» за те или иные реальные взаимодействия, затем сформированная система просчитывается и предлагается некий результат, выдаваемый за адекватное описание действительности. Подобная деятельность, в конечном счете, подрывает доверие к моделям. Добавление дополнительных членов в уравнения должно сопровождаться детальным исследованием новых свойств и режимов, которые привносит это добавление. Только после такого скрупулезного анализа можно дальше расширять систему.

Такой подход динамического нелинейного моделирования, ориентированный на поиск режимов, достаточно непривычен социологам, но есть продуктивные примеры, когда он помог науке описательной стать наукой точной. Этот пример – биология. Она, также как и социальные науки, изучает сложные, существенно нелинейные развивающиеся системы. Совсем еще недавно она занималась только классификацией и сбором данных, а сейчас уже вплотную подошла к созданию искусственной жизни и геномной инженерии. Такой прорыв был возможен во многом благодаря отказу от четкого следования цифре и переключению внимания на режимы функционирования живых систем, изучению не статическому, а динамическому, поиску простых соотношений, описывающих сложные формы. Именно в биологии применяется упомянутая выше модель «хищник-жертва».

Подытоживая вышесказанное, отметим, что важным направлением социальной науки видится поиск фундаментальных законов, которые должны строиться на основе нелинейных динамических систем с малым количеством параметров. Для верификации этих законов необходимо отслеживать соответствие не чисел, а режимов, переходя тем самым от статики к динамике.

Представляемая работа выполнена в соответствии с вышеописанными принципами. В работе рассматривается задача построения системы нелинейных динамических базовых моделей, отражающих различные стороны социальных процессов. Детальное описание моделей и приложений выходит за рамки ста-

ты, поэтому будет дано только краткое изложение их сути. Рассматриваются следующие аспекты: демографический, экономический, адаптивный.

### **Демографический аспект.**

Для описания демографических процессов видится достаточно перспективным использовать в общем случае систему Лотки-Вольтерра, частным случаем которой является система «хищник-жертва». Система Лотки-Вольтерра была расширена Д.С. Чернавским, в результате чего она стала пространственной моделью, позволяя учитывать при демографическом моделировании не только локальные процессы развития и взаимодействия различных популяций, но и процессы миграции, волн, вытеснения и сосуществования в географическом пространстве:

$$\frac{du_i}{dt} = c_i u_i - \sum_{j \neq i} b_{ij} u_i u_j - a_i u_i^2 + D_i(x, y) \Delta u_i, \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (2)$$

Здесь  $c_i$  - коэффициент репродукции, характеризующий рождаемость в  $i$ -ом популяции;  $b_{ij}$  и  $a_i$  - коэффициенты, характеризующие межвидовую и внутривидовую борьбу. Член  $D_i(x, y) \cdot \Delta u_i$  описывает миграции и вытеснение одних популяций другими;  $D_i(x, y)$  - коэффициент диффузии.

В результате функционирования модели на географической карте, определяющей влияние внешней среды на коэффициенты модели, формируется «политическая карта» – набор областей, внутри которых доминирует только один этнос, либо в некоторой пропорции сосуществует несколько этносов. Между областями проживания наблюдаются достаточно четкие границы (тем более четкие, чем выше коэффициенты межвидовой вражды). Данные границы постоянно находятся в движении (если «силы», граничащих этносов сильно отличаются, то движение быстрое, если же «силы» равны, то движения практически не заметно).

### **Экономический аспект.**

Поскольку демографический аспект рассматривался в пространственной постановке задачи, экономический аспект также

должен предполагать пространственное описание. Ведь нашей задачей было построение *согласованной системы* динамических моделей.

В пространственной экономике важнейшей проблемой является проблема формирования цен и товаропотоков во времени и пространстве. Поскольку модель базовая, то необходимо описать этот сложный процесс малым количеством уравнений и параметров.

Рассматривается некоторая территория, на которой может транспортироваться товар при заданном пространственном распределении производства и потребления. Предположение, что производство и потребление заданы – не узость модели, а наоборот – место стыковки с другими базовыми моделями: можно состыковать ее с демографической моделью, считая, к примеру, что потребление пропорционально плотности населения в данной точке пространства.

Задача пространственной торговли рассматривалась в свое время М.Бекманном, однако созданная им «пространственная модель товароперевозок» была статичной, оптимизационной и оперировала с фиксированными ценами. Нами была предпринята попытка модификации модели для того, чтобы сделать из нее динамическую базовую модель.

Рассматривается пространство, в каждой точке которого определена плотность производства  $q_p$  и потребления  $q_c$  товара, а также цена на этот товар  $p$ . Считается, что товар может транспортироваться по пространству, и, таким образом, в каждой точке будет иметься вектор потока  $\mathbf{J}$ . По дивергентному закону, изменение объема  $T$  товара в точке будет описываться формулой:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\operatorname{div}\mathbf{J} + q_p - q_c. \quad (3)$$

Будем считать, что цена может динамически изменяться в зависимости от разности спроса и предложения. Фактически, индикатором этой разности является скорость изменения количества товара в точке: чем быстрее расходуется товар, тем быстрее растет на него цена и наоборот:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = - \frac{\partial T}{\partial t} . \quad (4)$$

Наконец, позволим себе предположение, что величина товаропотока зависит от градиента цены:

$$\mathbf{J} = k\Delta p , \quad (5)$$

где коэффициент  $k$  определяет, насколько активно осуществляется транспортировка товара в точке при существующем перепаде цены.

Если объединить (3), (4) и (5), то получится всего одно уравнение:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \Delta(k\Delta p) + q , \quad (6)$$

где  $q = q_c - q_p$ .

Будем считать, что размерность  $k$  и  $q$  имеют адекватную размерность - в (4) имеется размерный коэффициент равный единице (иначе перекалибруем).

В (6) несложно узнать известное и хорошо изученное уравнение теплопроводности (оно же уравнение диффузии). То, что это уравнение хорошо изучено, избавляет нас от длительной процедуры исследования его свойств и позволяет сразу перейти к интерпретации и дальнейшему расширению. Обратим внимание на то, что мы выполнили одно важное для нас условие (как можно меньше уравнений и параметров): в модели только одно уравнение с двумя параметрами. Что касается возможных режимов, то в целом процесс следующий. В пространстве устанавливается некоторое устойчивое распределение цен и потоков, причем эти потоки сами «выбирают» оптимальные (с точки зрения издержек) пути доставки товаров от производителей к потребителям. Основное достижение в данном случае в том, что удалось описать этот сложный процесс одним уравнением, которое при необходимости несложно дополнить и расширить.

### **Адаптивный аспект**

Социальные системы – это системы, состоящие из индивидуумов, способных принимать решения и адаптироваться к

внешним условиям. Для описания подобных явлений целесообразно воспользоваться методами, разработанными в рамках научного направления искусственного интеллекта. Эти методы были нами расширены и приспособлены для задач моделирования социальных процессов. Был создан ФАБР-метод (FABR – fluctuating automata with backward reasoning), описывающий элементы социальной системы как автоматы, помещенные в среду и обладающие набором свободных параметров, которые они могут изменять с целью адаптироваться к среде. С математической точки зрения речь идет о задаче максимизации функции полезности для каждого автомата следующим образом: свободные параметры локально изменяются случайным образом, автомат проводит несколько жизненных циклов в среде с новыми значениями параметров и затем проверяет, не уменьшилась ли в результате функция полезности, которая рассчитывается по итогам «жизни» в среде. В случае, если функция полезности уменьшилась, то автомат «решает», что его эксперимент был неудачным и восстанавливает те значения параметров, которые были до эксперимента.

Все описанные аспекты реализованы в виде базовых моделей, открытых для модификации и взаимного объединения. Для каждой базовой модели были построены прикладные модели в целях оценки их адекватности. К примеру, демографическая модель нашла воплощение в моделях геополитических процессов, модели динамики этногенеза, базовой модели глобализации; экономическая модель – в моделях конкуренции производителей за рынки сбыта, модели экономического взаимодействия граничащих государств, модели динамики Шелкового Пути; ФАБР-метод – в модели самоорганизации социальных структур, модели возникновения древних государств в Европе.

Описанный подход показал свою эффективность. Однако сейчас положено только начало подобным исследованиям. Со временем, когда в этот процесс включится большее число исследователей от математики и общественных наук, безусловно, будут созданы модели, много превосходящие нынешние по глубине, адекватности и удобству использования. А это и есть цель научного прогресса.

### **Литература.**

1. Гласс Дж., Стенли Дж. Статистические методы в педагогике и психологии. – М.: Прогресс, 1976.
2. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. - М.: Наука, 1997.
3. Малков А.С. ФАБР-метод и моделирование социальных систем.// Искусственный интеллект в XXI веке – М.: Физматлит, 2001.
4. Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии. – СПб.: - Речь, 2001.
5. Чернавский Д.С. Синергетика и информация. – М.: Наука, 2001
6. Чернавский Д.С., Чернавская Н.М., Малков С.Ю., Малков А.С. Математическое моделирование геополитических процессов.// Стратегическая стабильность №1 2002.
7. Beckmann M., A Continuous Model of Transportation// Econometrica, vol.20, 1952.
8. Puu T., Nonlinear Economic Dynamics, 2nd edition, Springer, 1991