

© 2000 Г.

Ю.М. ПЛОТИНСКИЙ

## **ИКОНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ СОЦИОЛОГОВ**

---

*ПЛОТИНСКИЙ Юрий Менделеевич - кандидат технических наук, доцент социологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.*

---

В истории науки отмечается своеобразный бум публикаций по математическим методам исследования социальных процессов, имевший место в 1960-1980 гг. Но инфляция ожиданий в конце 80-х годов постепенно переросла у социологов в скептицизм, а затем глубокое разочарование в возможностях математического моделирования. Утверждается, что математические модели слишком абстрактны, чересчур упрощены и не могут адекватно описать реальное богатство социальных взаимодействий.

Математики, в свою очередь, обвиняли социологов в том, что те не умеют строить хорошие модели социальных процессов, не владеют сложным математическим аппа-

---

<sup>1</sup> О том, какую роль математический язык играл в творчестве известных специалистов в области социологического измерения, говорится в работе автора [14].

ратом. Можно смело сказать, что традиционное взаимодействие социологов и математиков во многом себя исчерпало, и для разрешения кризиса необходимы новые подходы.

В предлагаемой методологии роль формальных методов анализа социальных процессов кардинально пересмотрена, что обусловлено ориентацией в первую очередь на социологов - исследователей, преподавателей, студентов. Иконологическое моделирование представляет собой набор средств, позволяющих социологам самостоятельно формализовывать содержательные модели и проводить их исследования, опираясь не на сложный математический аппарат, а на современные компьютерные технологии визуализации информации. Данная методология позволяет перейти от "жестких" математических моделей к изучению значительно более реалистичных "мягких" моделей. Как справедливо отмечает академик В.И. Арнольд, в социальных науках конкретный вид взаимосвязей часто неизвестен, поэтому необходимо исследование поведения систем для целого класса функций [1].

Последние годы все большей популярностью в смежных научных дисциплинах пользуются такие новые научные направления как: экспериментальная экономика, компьютерная (computational) экономика и социология, теория активных систем, моделирование искусственной жизни в биологии. Для перечисленных направлений характерна тесная взаимосвязь и взаимопроникновение идей и результатов.

В данной работе предлагается проект создания методологии иконологического моделирования. Мы остановимся на трех основных инструментах иконологического моделирования: моделировании причинно-следственных связей, клеточном моделировании и моделировании структурных взаимосвязей и сетевых взаимодействий.

## **Базовые принципы иконологического моделирования для социологов**

1) Социолог имеет возможность самостоятельно проводить построение и изучение модели. Помощь математика и программиста необязательна. От пользователя не требуется владение сложным математическим аппаратом и языками программирования.

2) Методология ориентирована на исследование моделей с помощью вычислительных экспериментов и получение качественных оценок. Центр тяжести исследования переносится с аналитических методов на методы визуализации информации и использование средств интерактивной графики [2].

3) Ключевую роль играет доверие социолога к получаемым результатам. Обеспечить необходимый его уровень позволит использование стандартного и распространенного программного обеспечения (в данном случае электронных таблиц Excel версии 5.0 и выше). Социолог должен иметь возможность проверить буквально каждый шаг вычислений. Процесс компьютерной имитации должен находиться под полным контролем пользователя. В любом месте процесс вычислений можно прервать, скорректировать модель и продолжить моделирование дальше.

4) Методология должна обеспечивать возможность моделирования многофакторных нелинейных социальных взаимосвязей как на микро-, так и на макроуровне.

После того, как исследователь понял механизм функционирования системы, его главной задачей становится формализация описания этого механизма. Дальнейшее изучение поведения системы представляется достаточно простым, если воспользоваться возможностями современных компьютерных технологий.

Эксперименты с моделью позволяют выявить неожиданные эффекты, сгенерировать новые гипотезы, обеспечить описание и понимание социальных явлений, недоступное в других языках научных исследований. Так, с помощью компьютерных экспериментов удастся выявить возможные формы пространственной и временной самоорганизации, условия возникновения социальных структур, проанализировать эволюцию систем правил.

## Моделирование причинно-следственных связей

Иконологическое моделирование предназначено для исследования моделей многофакторных, нелинейных систем на макроуровне. Для демонстрации его основных особенностей воспользуемся классической моделью диффузии инноваций.

Обозначим число людей, принявших некую инновацию к моменту времени  $t$ , через  $y_t$ . Пусть  $M$  - емкость рынка, или максимально возможное число лиц, способных адаптировать данное нововведение. Предположим, что прирост числа сторонников новинки пропорционален числу возможных встреч между сторонниками новинки и пока сомневающимися. Число таких встреч пропорционально произведению  $y_t \times (M - y_t)$ .

Получаем логистическое уравнение

$$y_{t+1} = y_t + a y_t \times (M - y_t), \quad (1)$$

где  $a$  - коэффициент пропорциональности.

Рассмотрим реализацию в Excel обобщения уравнения (1). Предположим, что значения  $a$  линейно убывают, а  $M$  - линейно растут при увеличении  $t$ . Введем соответствующие значения в столбцы В и С (см. табл.).

Фрагмент окна Excel

	А	В	С	Д	Е
1	5	0,0005	1000		
2		0,00049	1010		
3		0,00048	1020		

В столбец А запишем значения  $y_t$ . В ячейке А1 зададим начальное значение  $y_t$  при  $t - 1$ . Введем формулу (1) в ячейку А2 в следующем виде:

$$= A1 + B1 \times A1 \times (C1 - A1) \quad (2)$$

Напомним, что для завершения ввода формулы необходимо нажать клавишу "Ввод" (Enter), после чего в ячейке А2 появится результат вычислений по данной формуле - 7,4875, сама же формула также осталась в ячейке и видна в строке формул, расположенной над таблицей.

Теперь приступим к размножению формул. Подведем курсор к правому нижнему углу ячейки А2 так, чтобы он превратился в черный крестик и, нажав левую кнопку мыши, протащим ее до ячейки А20. Столбец А заполнится числами.

Изучение стройных рядов чисел лучше проводить с помощью графики.

Выделим ячейки с А1 по С20. Для этого следует подвести курсор к ячейке А1, нажать левую кнопку мыши и протащить ее до ячейки А20, затем вправо до ячейки С20. Столбцы А, В, С выделяются черным цветом. В стандартной панели инструментов щелкнем по кнопке с изображением графика. Появится крестик, который следует подвести к любой пустой ячейке и щелкнуть мышью. Появится меню "мастер диаграмм". Выберем - "График", вариант № 2. После щелчка по кнопке "Закончить" Excel построит соответствующий график - в данном случае "S-образную" кривую и две линейные функции.

На этом все подготовительные операции заканчиваются. После приобретения необходимых навыков вся процедура будет занимать не более минуты.

После ввода в компьютер исходной информации и построения графика начинается самый интересный и наиболее важный этап исследования. Введя новые начальные значения в ячейку А1 либо новые значения коэффициентов (столбцы В и С) и нажав клавишу "Ввод" (Enter), т.е. завершив операцию ввода данных, исследователь в ту же секунду увидит новый вариант графика. Теперь можно понять, интуитивно ощутить, каким образом изменения параметров модели влияют на динамику процесса.

Для того чтобы изучить влияние на поведение системы изменений параметров, воспользуемся возможностями интерактивной графики.

После щелчка мышью по графику параметра  $M$  на нем появится черная точка. Еще один щелчок приведет к появлению вертикальной стрелки. Теперь можно вытянуть график вверх или вниз. Автоматически изменится значение  $M$  в столбце  $C$  и будут пересчитаны формулы в столбце  $A$ . Затем изменения в столбце  $A$  отразятся на соответствующем графике. Аналогично, непосредственно на диаграмме можно варьировать начальное значение  $y_1$ .

Весь процесс занимает доли секунды и позволяет исследователю оценить устойчивость модели, влияние возможных внешних воздействий, проанализировать различные сценарии развития рассматриваемых процессов. Возможности изучения "мягких" моделей осуществляются благодаря тому, что вместо линейных функций  $a$  и  $M$  пользователь может нарисовать любые функции, просто перемещая точки на соответствующем графике (знание их аналитического вида не требуется).

Более сложной проблемой является управление системой. Если поведение системы, начиная с некоторого момента времени  $t$ , станет неудовлетворительным, следует продумать, какие изменения необходимо внести в систему, скорректировать механизм поведения системы и продолжить расчеты с момента  $t$ .

С помощью Excel легко исследовать поведение моделей, коэффициенты которых являются случайными величинами. Проще всего это сделать, вызвав в меню "Сервис" пакет "Анализ данных" и выбрать затем альтернативу "Генерация случайных чисел". (Если в меню такой строки нет, пакет следует загрузить, выбрав в меню "Сервис" "Дополнения").

Освоение данного подхода дает в руки социолога эффективный инструмент исследования поведения систем. Его эффективность увеличивается с ростом сложности системы. Традиционно считалось, что изучение поведения даже простых систем невозможно без овладения весьма сложным математическим аппаратом и приобретения необходимых навыков, что отпугивало гуманитарно ориентированных ученых. Предлагаемый подход ломает стену между построением модели и ее изучением.

Для данного направления особый интерес представляют выводы, сделанные Дж. Форрестером о роли нелинейности в моделировании социальных систем [3]. Традиции научного сообщества ориентированы на исследование линейных систем, как считает Форрестер, по следующим причинам:

1) Изучение линейных систем нередко позволяет получить элегантное математическое решение в сжатой форме. Поведение решений нелинейных систем более сложное, запутанное; как правило, изучение таких систем требует использования компьютеров и соответствующего программного обеспечения.

2) Статистические методы анализа реальных данных в основном ориентированы на линейный случай.

3) Нелинейность отрицательно сказывается на универсальности моделей. Поведение нелинейных систем часто резко меняется при изменениях параметров системы и ее частей. Точные решения, полученные для линейного случая, как правило, могут использоваться только для получения оценок в частных случаях. Исследование конкретных нелинейных систем нередко носит прикладной характер и не соответствует высоким стандартам академической науки.

## Клеточное моделирование

Популярность клеточных автоматов резко возросла в 70-е годы, когда началось повальное увлечение играми (например, игра "Жизнь"). Но постепенно стали появляться более интересные области приложения, в основном, в естественнонаучной сфере. Американский математик Джон фон Нейман полагал, что такие сложные процессы как самовоспроизведение, турбулентность целесообразно моделировать с по-

мощью клеточных автоматов. Появляется все больше примеров успешного использования нового языка для моделирования социальных процессов. А в последние годы речь идет уже о появлении новых универсальных моделей реальности. Созданы даже машины клеточных автоматов - приставки к ЭВМ, существенно ускоряющие процесс моделирования.

Клеточными автоматами принято называть сети из элементов, меняющих свое состояние в дискретные моменты времени [4]. Чаще всего рассматриваются двухмерные клеточные автоматы, элементом которых является один квадрат (например, на листе бумаги в клетку). Каждый автомат или клетка могут находиться в конечном числе состояний, в простейшем случае в двух - черное или белое, жизнь или смерть, 1 или 0. Время в модели задается дискретным множеством тактов ( $t = 1, 2, 3, \dots$ ). Система клеточных автоматов, как правило, функционирует в некотором замкнутом пространстве (например, в квадратной решетке  $10 \times 10$  или  $100 \times 100$ ).

Состояние автомата в момент времени  $t + 1$  определяется его состоянием и состоянием его ближайших соседей в предыдущий момент времени  $t$ . В моделях клеточных автоматов среда обычно предполагается однородной - т.е. правила изменения состояний для всех клеток одинаковы.

Рассматриваются также клеточные автоматы с памятью. В этом случае состояние элемента в момент  $t + 1$  зависит от состояния системы в момент  $t$  и  $t - 1$ .

Анализ поведения клеточных автоматов показал, что их эволюция во многом аналогична динамике сложных нелинейных систем [4] и может быть сведена к четырем основным типам.

*Первый тип.* Независимо от начального состояния, за конечное число шагов происходит переход к однородному состоянию - все автоматы оказываются в состоянии покоя.

*Второй тип.* В процессе эволюции автомат приходит к локализованным стационарным или периодическим решениям.

*Третий тип.* Картины активности системы автоматов являются аperiodическими - никогда не повторяются. Можно сказать, что автоматы демонстрируют хаотическое поведение.

*Четвертый тип.* Динамика автоматов существенно зависит от начального состояния. Подбирая различные начальные состояния, можно получать самые разнообразные конфигурации и типы поведения.

В литературе имеются примеры успешного применения моделей клеточных автоматов для решения прикладных задач анализа социальных процессов.

В цикле работ Т. Брауна рассматривается ряд контекстуальных моделей электро-ального процесса, в которых предполагается, что избирательные предпочтения индивида определяются установками его ближайшего окружения. Рассмотрим обобщение одной из моделей Брауна [5]. Предположим, что индивид принимает решение голосовать в момент  $t + 1$  за республиканцев или демократов в соответствии с правилами простого большинства. Учитываются взгляды индивида и восьми его ближайших соседей. Если из девяти человек пятеро или больше поддерживают демократов, то индивид также голосует за демократов. Если большинство составляют республиканцы, то индивид также разделяет точку зрения большинства. В данном случае клеточный автомат имеет два состояния: 1 - голосование за республиканцев; 0 - голосование за демократов.

Покажем, что данная модель может быть легко реализована на ЭВМ с помощью электронных таблиц. Придадим клеткам исходной таблицы Excel вид небольших квадратов (с помощью форматирования). Отведем для модели поле  $10 \times 10$  (клетки B2 : K11) и зададим в нем начальное состояние.

Перейдем на Лист 2 и введем в ячейку B2 формулу:

=ЕСЛИ(СУММ(Лист1!A1 : C3) > 4; 1; 0)

Данная логическая функция вычисляет "потенциал" ячейки B2 - в данном случае - число сторонников республиканцев. Если это число больше 4, то ячейке B2 присваивается 1 ("автомат" голосует за республиканцев), в противном случае - 0 (голосование за демократов).

Размножим эту формулу на все ячейки B2 : K11. Получаем новое состояние системы. Скопируем это состояние и вставим, с помощью команды "Специальная вставка", только "значения" в те же ячейки на листе t. Запишем процедуру копирования в виде макроса. Назначим макросу клавиши быстрого вызова, например Ctrl + e. Теперь переход к следующему временному такту будет происходить после каждого нажатия этой комбинации клавиш [2].

Также легко может быть реализована модель диффузии инноваций, предложенная индийскими учеными [6]. Каждый индивид соответствует одной клетке, которая может находиться в двух состояниях: 1 - новинка принята; 0 - новинка пока еще не принята. Предполагается, что автомат, приняв новинку один раз, остается ей верен до конца и значение (1) далее не меняется. Автомат принимает решение относительно новинки, ориентируясь на мнение ближайших соседей.

По мнению индийских ученых, клеточное моделирование позволяет строить значительно более реалистические модели рынка, чем традиционные подходы к исследованию диффузии инноваций. Главное достоинство этого подхода заключается в возможности эмпирической оценки фактора  $p$  - вероятности принятия новинки. Для этого можно использовать данные социологических опросов и материалы фокус-групп. Второе преимущество предлагаемого подхода состоит в возможности получения оценок необходимого числа сторонников и их пространственного распределения в начальный момент кампании.

Ясно, что легко усложнить формулу расчета потенциала, изменить окрестность, ввести в расчет случайные факторы. Учет географических особенностей региона может заставить отказаться от простой квадратной решетки. В ней могут появиться дырки, а граница вполне может быть извилистой. Совершенно необязательна унификация правил поведения автоматов. Например, можно для центральных клеток задать одни правила, а для периферийных - другие. При принятии решений "автомат" может ориентироваться не только на мнение своих соседей (микроуровень), но и учитывать макропеременные (например, общее число сторонников данной позиции).

Очевидно, что, снабдив клетку даже примитивным искусственным интеллектом, можно исследовать все более глубокие слои социальной реальности. Весьма перспективным направлением исследований является клеточное моделирование процессов кооперации и конкуренции с использованием для принятия решений модели теории игр.

## **Моделирование структурных взаимосвязей и сетевых взаимодействий**

Углубление понимания социальных явлений все чаще требует перехода от целостного анализа социальных систем к анализу сетей социальных взаимодействий. Бурное развитие Интернета делает проблему анализа социальных сетей одной из наиболее актуальных в современном социальном теоретизировании и прикладных исследованиях [7]. Анализ структур играет также важную роль при моделировании процессов обмена в распределении властных полномочий.

Наиболее распространенным языком представления и анализа структур является теория графов. С помощью графов легко визуализируются отношения взаимосвязи между множеством вершин. В качестве вершин в социологии рассматриваются индивиды, социальные системы и подсистемы. Наличие ребра (дуги), соединяющей две вершины графа, означает наличие связей между данными элементами.

Одна из наиболее сложных проблем - решение динамических задач, когда состояние или структура сети зависят от времени. В этом случае для проведения вычислительных экспериментов могут быть использованы те же приемы, что и для клеточного моделирования.

## Выводы

Изложенные методологические принципы могут быть использованы не только в научных исследованиях, но и в преподавании различных дисциплин на социологических факультетах. Понимание многих социальных процессов (эволюция, кооперация, самоорганизация, конкуренция, обучение, подражание и т.д.) станет более глубоким. Использование визуализации, игровых форм, безусловно, обогатит традиционные формы изложения материала. Отметим, что при данном подходе снимается проблема мотивации студентов к овладению основами моделирования - многие модели можно считать просто упражнениями по освоению современных электронных таблиц.

Применение специализированных пакетов на данном этапе нецелесообразно, так как у пользователя снижается уровень доверия к результатам, получаемым из "черного" ящика. К тому же специализированные пакеты не всегда могут обеспечить уровень гибкости, необходимый для исследования "мягких" моделей. Конечно, социолог может нуждаться в наборе дополнительных программных средств для решения конкретных задач, но они должны быть оформлены в виде системы общедоступных программных модулей (СПМ), состоящей из совокупности достаточно простых макросов.

Иконологическое моделирование не предполагает традиционных методов освоения математических знаний. Математические понятия и утверждения используются только как генеративные метафоры, позволяющие по-новому увидеть изучаемые явления, сформулировать нетривиальные гипотезы о поведении рассматриваемых процессов.

Есть все основания полагать, что предложенный инструментарий должен постепенно стать органической частью социологического знания. Это создаст необходимые условия для синтеза социологии, информатики и математики, выводящего социальные науки на качественно новый уровень.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арнольд В.И. "Жесткие" и "мягкие" математические модели // Математическое моделирование социальных процессов. М: МГУ, 1998. С. 29-51.
2. Плотинский Ю.М. Теоретические и эмпирические модели социальных процессов. М.: Логос. 1998.
3. Forrester J.W. System Dynamics and the Lessons of 35 years // A Systems - based approach to Policymaking (ed. by De Green U.B.), Boston, Kluwer, 1995. P. 199-239.
4. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. М.: Наука, 1990.
5. Brown T.A. Nonlinear Politics // Chaos Theory in the Social Sciences / eds. L.D. Kiel, E. Elliot. Ann Arbor. The Univ. Of Michigan Press. 1996. P. 119-137.
6. Bhargava et al. A Stochastic Cellular Automata. Model of Innovation Diffusion // Technological Forecasting and Social Change. 1993. Vol. 44. № 1. P. 87-97.
7. Scon J. Social Network Analysis. A Handbook. Sage. L.. 1991.