

## ЗАМЕНА ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ КЛЕТОЧНЫМ АВТОМАТОМ В МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОТИВОБОРСТВА<sup>6</sup>

М.Е. Степанцов (Москва)

На современном этапе ускоренного развития цифровых технологий проблемы информационного противоборства перестают быть важными лишь для узкого круга специалистов в этой области. Эти вопросы приобретают особую значимость в сферах политики, экономики и безопасности, и это не позволяет продолжать решать их только качественными методами, приводящими к приближенным, умозрительным выводам. Задачи в области информационной безопасности требуют точного количественного подхода и, следовательно, создания надежного математического аппарата, позволяющий такой подход осуществить.

В данной работе хотелось бы обратить внимание на модели информационного противоборства [1], [2], основанные на нейробиологической схеме Рашевского [3].

В этих моделях рассматривается простейший случай пропаганды [1], [4], когда речь идет о выборе индивидами одной из двух позиций по некоторому вопросу, например, какую из партий – L или R – поддержать на выборах. Предполагается, что у индивидов может быть априорное мнение по этому вопросу, либо же у некоторых из них оно изначально не определено.

Модель, предложенная в [1] имеет вид интегро-дифференциального уравнения

$$\frac{d\psi}{dt} = A \left( C \left( 2 \int_{-\psi(t)}^{+\infty} N(\varphi) d\varphi - N_0 \right) + b_R - b_L \right) - a\psi(1)$$

с начальным условием, задаваемым в виде

$$L(0) = \int_{-\infty}^{-\psi(0)} N(\varphi) d\varphi. \quad (2)$$

Здесь функция  $\psi(t)$  имеет смысл сдвига предпочтений индивидов под влиянием пропаганды, определяя численность сторонников партий L и R как

$$L(t) = \int_{-\infty}^{-\psi(t)} N(\varphi) d\varphi$$

$$R(t) = \int_{-\psi(t)}^{+\infty} N(\varphi) d\varphi,$$

то есть функция  $N(\varphi)$  задает распределение отношения индивидов к альтернативам L и R, а

$$N_0 = \int_{-\infty}^{+\infty} N(\varphi) d\varphi$$

– численность социума. Параметры  $b_R$ ,  $b_L$ ,  $C$ ,  $A$  и  $a$  характеризуют соответственно, влияние пропаганды партий R и L, общественного мнения, способность индивидов менять свое мнение и «затухание» таких изменений. Они не будут механически перенесены в дискретную модель, поэтому обойдемся без их подробного рассмотрения.

Распределение  $N(\varphi)$  характеризует, в частности, ситуацию со взглядами в обществе на проблему выбора между альтернативами. Так, нормальный характер этого распределения с центром в нуле соответствует консолидированному обществу, а если эта функция представляет собой сумму двух функций нормального распределения с симметричными относительно нуля центрами – речь идет о поляризованном по данному вопросу обществе [4].

<sup>6</sup> Работа поддержана РФФИ, проекты 18-01-00619, 18-01-00551 и 19-010-00423.

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Хотя точное решение задачи (1), (2) в общем виде не получено, его исследование вполне осуществимо [1]. Однако рассмотренная непрерывная модель не всегда может быть удачно модифицирована для решения конкретных задач. Так, в ее рамках трудно учесть возможную различную восприимчивость индивидов к пропаганде, особое влияние мнения референтной для данного индивида группы и вообще дисперсию любых характеристик индивидов, кроме, собственно, их начальных отношений к альтернативам.

Одним из способов преодоления указанных трудностей является применение имитационного моделирования. В данном случае представляется уместной замена непрерывной модели клеточным автоматом, макродинамика которого будет соответствовать динамике решений приведенного выше интегро-дифференциального уравнения. Такой подход уже применялся автором в отношении модели А.П. Михайлова «Власть-общество» и ее модификаций [5]. Он является и несколько более адекватным методологически, поскольку речь идет о моделировании дискретных явлений при помощи дискретных математических объектов без промежуточного перехода к непрерывному рассмотрению.

Построение дискретной модели

В рамках данной работы ограничимся построением такой имитационной системы на основе клеточного автомата, которая бы описывала ту же реальность, что и исходная непрерывная модель информационного противоборства, демонстрировала бы такую же макродинамику и давала возможность повторить результаты, полученные при помощи непрерывной модели. Модификации, позволяющие расширить область применимости модели, будут предметом исследований, планируемых в дальнейшем.

В качестве поля предлагаемого клеточного автомата возьмем классическую ортогональную решетку, в каждом из узлов которой разместим конечный автомат, описывающий текущие взгляды отдельного индивида. В рамках традиционной для клеточных автоматов терминологии будем называть его клеткой, имеющей три возможных состояния: поддержка альтернативы L (-1), поддержка альтернативы R (1) и не определившиеся взгляды (0). Также припишем каждой клетке в качестве параметра состояние взглядов индивида без воздействия пропаганды, которое также может принимать одно из трех перечисленных значений, но является неизменным – в отличие о состояния клетки, описывающего текущие взгляды индивида.

В рамках этого подхода для данной модели вместо непрерывного распределения индивидов по взглядам на предлагаемые альтернативы будет использовано их дискретное распределение по трем возможным точкам зрения. В качестве величины, аналогичной (но не равной в точности) переменной  $\psi$  будет выступать выражение

$$\psi^* = \frac{R(t) - L(t)}{N_0}.$$

Тогда динамика этой величины задается следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi^*}{dt} &= \frac{\frac{dR(t)}{dt} - \frac{dL(t)}{dt}}{N_0} \\ \frac{d\psi^*}{dt} &= 2 \frac{d\psi}{dt} \frac{N(\psi)}{N_0} \end{aligned} \quad (3)$$

Соотношение (3) можно использовать для проверки соответствия макродинамики дискретной и непрерывной моделей, но следует заметить, что большая часть результатов в [1] и [4] получена в терминах динамики численности сторонников альтернатив, то есть сравнение моделей уместно проводится именно по этим показателям.

Нам же важно, что в дискретной модели динамика среднего количества клеток, находящихся в заданном состоянии, должна приближенно соответствовать решению уравнения  $\frac{dx}{dt} = f(x)$

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Способ построения такого клеточного автомата хорошо известен и применен, например, в [6]. Требуемый клеточный автомат строится таким образом, чтобы он с некоторой вероятностью  $p = \alpha|f(x)|$  переходил в состояние, соответствующее большему значению  $x$  при  $f(x) > 0$  и меньшему – при  $f(x) < 0$  (при этом  $x$  теперь представляет собой среднюю величину соответствующих значений в каждой из клеток). Пусть в обоих случаях изменение  $x$ , то есть шаг дискретности этой величины, равно  $\Delta x$  ( $\Delta x > 0$ ), тогда, считая, что шаг по времени равен 1, находим коэффициент  $\alpha$  из условия:

$$|f(x)| = \left| \frac{dx}{dt} \right| \approx p = \alpha|f(x)|\Delta x$$
$$\alpha = \frac{1}{\Delta x} \quad (4)$$

Итак, взяв в качестве  $x$  величину  $\psi^*$ , можно легко «перевести на язык клеточного автомата» все члены правой части уравнения (1), кроме интегрального. Что же касается интегрального слагаемого, то очень удачным оказывается тот факт, что оно представляет собой не что иное как разность количеств сторонников двух альтернатив  $R(t) - L(t)$ . Эту величину мы можем получить прямым подсчетом по полю клеточного автомата и использовать с соответствующим коэффициентом в качестве еще одного слагаемого, входящего в  $f(\psi^*)$ .

Таким образом, на каждом шаге по времени в предлагаемом клеточном автомате к каждой клетке применяются последовательно три алгоритма, приводимые ниже.

**Алгоритм А:** влияние прямой пропаганды.

```
if  $\Delta > 0$  then
if Center = 0 and  $r < \Delta$  then Center = 1
if Center = -1 and  $r < \Delta$  then Center = 0
end if
if  $\Delta < 0$  then
if Center = 0 and  $r < -\Delta$  then Center = -1
if Center = 1 and  $r < -\Delta$  then Center = 0
end if
```

Здесь  $\Delta = A^*(b_R - b_L)$  – параметр, отвечающий за суммарное влияние прямой пропаганды в пользу каждой из альтернатив,  $r$  – случайное число, равномерно распределенное на промежутке  $[0; 1]$ , Center – стандартное обозначение состояния самой (в отличие от ее соседей) рассматриваемой клетки поля клеточного автомата. Все параметры, обозначенные звездочкой, подбираются исходя из соотношения (4).

**Алгоритм Б:** затухание изменений точки зрения, вызванных пропагандой.

```
if not  $z = \text{Center}$  then
if  $r < a^*$  then
if Center >  $z$  then Center = Center - 1
if Center <  $z$  then Center = Center + 1
end if
end if
```

Здесь  $a^*$  – параметр, отвечающий за затухание влияния пропаганды,  $z$  – параметр, устанавливающий начальное состояние клетки (собственное отношение индивида к альтернативам), заданный для каждой клетки.

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

**Алгоритм В:** влияние общественного мнения.

if  $\psi^* > 0$  then

if Center < 1 and  $r < c^* \psi^*$  then Center = Center + 1

end if

if  $\psi^* < 0$  then

if Center > -1 and  $r < -c^* \psi^*$  then Center = Center - 1

end if

Здесь  $\psi^*$  – введенная ранее величина, характеризующая превышение числа сторонников альтернативы R над числом сторонников альтернативы L,  $c^*$  – параметр, описывающий влияние общественного мнения.

Вычислительные эксперименты

Предложенный клеточный автомат, как показано выше, при правильном подборе коэффициентов должен порождать такую же макродинамику, как и исходная непрерывная модель. Для проверки этого утверждения был проведен ряд вычислительных экспериментов. В них использовался клеточный автомат с размерами поля 20x20, содержащий, таким образом, 400 клеток. В каждом эксперименте начальное распределение мнений совпадало с полем значений собственных мнений  $z$ . В качестве числа не определившихся индивидов было взято нормированное соответствующим образом значение непрерывной функции распределения при  $\varphi = 0$ , а в качестве чисел сторонников двух альтернатив – значения этой функции в точках перегиба для консолидированного общества и ее значения в максимумах для поляризованного. Точные количества априорных сторонников каждого из вариантов для  $N_0 = 400$  приведены в таблице 1.

Таблица 1. Распределение индивидов по отношению к альтернативам, использовавшееся при вычислительных экспериментах.

Тип общества	Количество индивидов		
	Сторонники L	Не определившиеся	Сторонники R
Консолидированное	110	180	110
Поляризованное	150	100	150

Прежде всего, в рамках нескольких сотен экспериментов были получены зависимости  $\psi^*(t)$  при различных значениях параметров. В каждом случае эта величина стремилась к стационарному значению, следовательно, как и в [4] формировались стационарные значения численности сторонников каждой из альтернатив. Типичный пример такой зависимости представлен на рис. 1.

Поскольку, как и в случае непрерывной модели, имеет место выход динамики системы на стационарное решение, оказывается возможным, как это было сделано в [4], исследовать функцию отклика на пропаганду. Эта функция представляет собой зависимость стационарного значения численности сторонников одной из альтернатив (например, R) от интенсивности пропаганды в поддержку этой альтернативы.

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

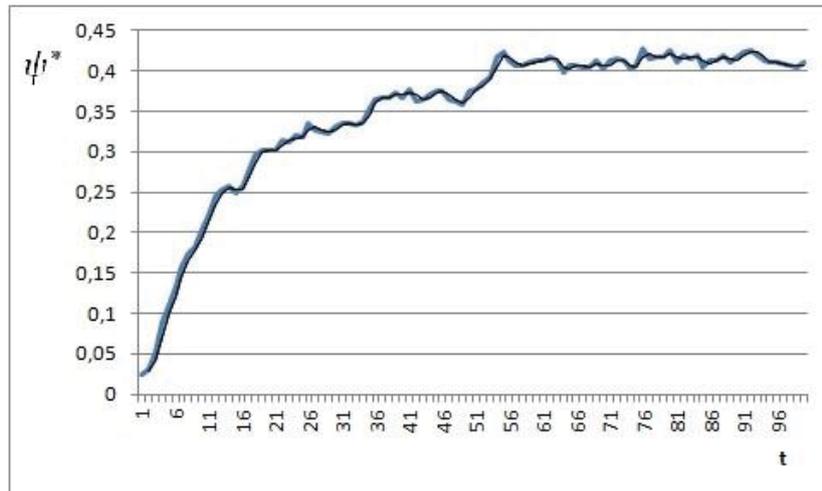


Рис. 1. Формирование стационарных значений численностей сторонников альтернатив.

В экспериментах были использованы значения параметров  $b_L = 10$ ,  $c^* = 0,1$ ,  $a^* = 0,1$ ,  $A^* = 0,1$ , и изучалась зависимость стационарного значения  $R$  от параметра  $b_R$ , который менялся в интервале от 0 до 26. Как и для непрерывной модели в [4], в случае консолидированного общества эта зависимость представляла собой функцию, выпуклую вверх (рис. 2), а при поляризованном обществе – функцию с S-образным графиком (рис. 3).

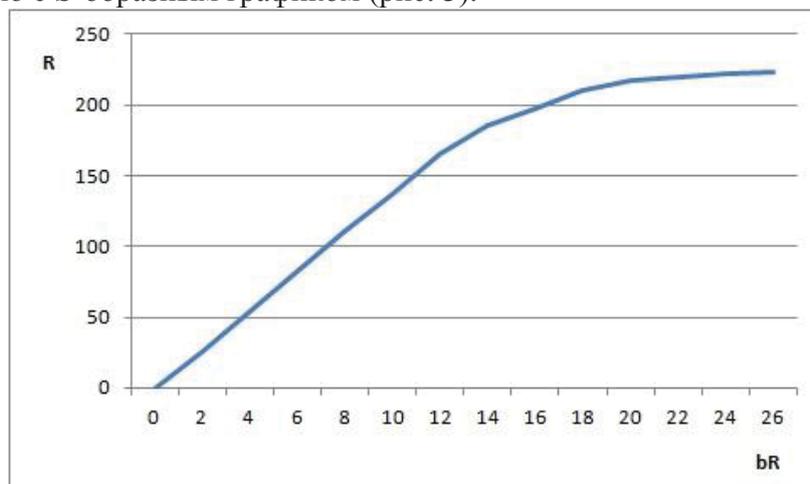


Рис. 2. Функция отклика для случая консолидированного общества.

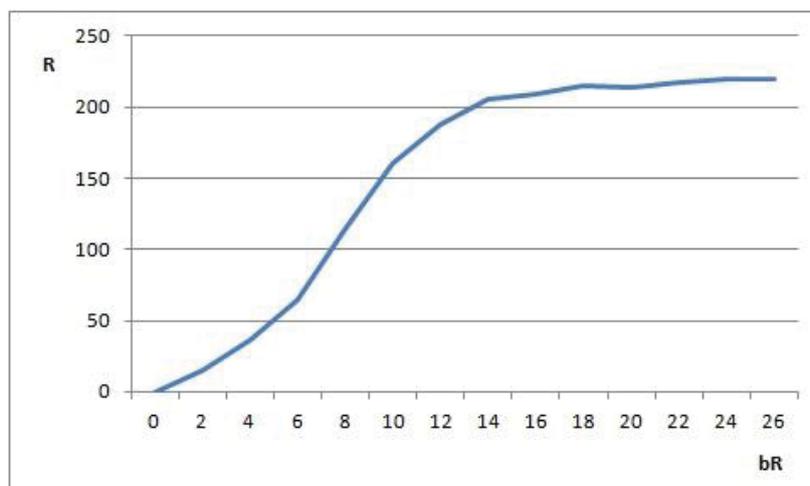


Рис. 3. Функция отклика для случая поляризованного общества.

### **Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования**

---

Таким образом, предложенная в работе дискретная модель на основе клеточного автомата порождает макродинамику, совпадающую с макродинамикой исходной непрерывной модели и позволяет получить результаты, аналогичные тем, которые были получены при помощи непрерывной модели.

При этом следует обратить внимание на то, что непрерывная модель не учитывает то, что наибольшее влияние на мнение индивида оказывают малые группы, здесь учитывается влияние общества в целом. Предлагаемая же модель позволяет рассмотреть это влияние как воздействие окрестности клетки на ее состояние (что является отличительной чертой клеточного автомата). Кроме того, в исходной модели не рассматривается процесс интериоризации индивидом внешних представлений, что легко можно осуществить в клеточно-автоматной модели путем задания правил изменения параметров  $z$ , описывающих внутренние убеждения индивидов. В тех случаях, когда перечисленные аспекты могут оказаться важными для понимания динамики изучаемой системы, представляется уместным использовать дискретную клеточно-автоматную модель.

В дальнейших исследованиях автор планирует перечисленные варианты модификации этой модели для имитационного моделирования конкретных случаев информационного противоборства.

#### Литература

1. Петров А.П., Маслов А.И., Цаплин Н.А. Моделирование выбора позиций индивидами при информационном противоборстве в социуме // Математическое моделирование, 2015. Т.27, №12. С.137-148.
2. Petrov A.P., Lebedev S.A. Online Political Flashmob: the Case of 632305222316434 // Computational mathematics and information technologies. — 2019. — No 1. — P. 17–28.
3. Rashevsky N. Mathematical biophysics: physico-mathematical foundations of biology. – Univ. of Chicago, Chicago Press. – 1938.
4. Прончева О.Г., Петров А.П. Функция отклика на пропаганду в консолидированных и поляризованных обществах // Информационные войны – 2018. – №3 (47). – С. 50-53.
5. Степанцов М.Е. Моделирование системы «власть-общество-экономика» с элементами коррупции на основе клеточных автоматов // Математическое моделирование, 2017. – Т. 29, № 9. - С. 101-109.
6. Степанцов М.Е. Моделирование системы "власть-общество-экономика" на основе клеточного автомата // Седьмая всероссийская научно-практическая конференция "Имитационное моделирование. Теория и практика" (ИММОД-2015). Труды конференции. 21-23 октября 2015 г., Москва: в 2 т.- М.: ИПУ РАН, 2015. - Т.1. - С. 168-172.