

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В НЕКОТОРЫХ СЦЕНАРИЯХ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОТИВОБОРСТВА ПРИ ПОМОЩИ КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА¹

М.Е. Степанцов (Москва)

В последнее время благодаря взрывному росту темпов развития цифровых технологий проблемы информационного противоборства в сферах экономики и политики приобретают особое значение. В то время как вопросы методов и целей такого противоборства относятся к иным областям знаний, имитационное моделирование может предложить количественный подход к описанию этих процессов. В предыдущей работе [1] была исследована дискретная модель, построенная методом замены интегро-дифференциальных уравнений клеточными автоматами на основе непрерывных моделей [2], [3], базировавшихся, в свою очередь, на нейробиологической схеме Рашевского [4].

Непрерывная модель, предложенная в [2] и подробно рассмотренная в [1], имеет вид интегро-дифференциального уравнения

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

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, $N(\varphi)$ задает распределение отношения индивидов к альтернативам L и R, N_0 – численность социума. Параметры b_R , b_L , C , A и a характеризуют соответственно, влияние пропаганды альтернатив R и L, общественного мнения, способность индивидов менять свое мнение и «затухание» таких изменений.

В качестве альтернативной дискретной модели был предложен клеточный автомат на классической ортогональной решетке с клетками, имеющими три возможных состояния (поддержка альтернативы L (-1), поддержка альтернативы R (1) и не определившиеся взгляды (0)), и параметр, задающий состояние взглядов индивида без воздействия пропаганды.

Было доказано, что последовательное применение на каждом шаге по времени к каждой клетке трех алгоритмов, приводимых ниже, приводит к такой же макродинамике, какая порождается исходной непрерывной моделью. На основе этого автомата в среде VBA была построена имитационная система, и в ходе проведенных с ее помощью вычислительных экспериментов было показано, что подбор упомянутых коэффициентов возможен при помощи метода простых итераций.

Приведем алгоритмы, применявшиеся в первой версии модели.

Алгоритм А (прямое влияние 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

```

¹ Работа поддержана РФФИ, проект 19-010-00423.

Здесь $\Delta = A^*(b_R - b_L)$ – интегральное влияние 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 величины, обозначенные звездочкой, имеют тот же смысл, что и в непрерывной модели, но не обязательно совпадают с ними численно.

Алгоритм Б (затухание изменений точки зрения, вызванных пропагандой)

```

if not  $z = Center$  then
  if  $r < \alpha^*$  then
    if  $Center > z$  then  $Center = Center - 1$ 
    if  $Center < z$  then  $Center = Center + 1$ 
  end if
end if

```

Здесь z – параметр, устанавливающий начальное состояние клетки (собственное отношение индивида к альтернативам), заданный для каждой клетки.

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

```

Модификация дискретной модели

Изложенная выше модель, таким образом, представляет собой полный аналог исходной непрерывной модели, но ее клеточно-автоматная природа никак не была использована в предыдущем исследовании, а ведь именно она дает возможность, используя подход имитационного моделирования, расширить границы применимости модели.

В новой модели предлагается учесть некоторые аспекты взаимодействия индивида с обществом в рамках информационного противоборства, которые невозможно исследовать при помощи классических методов анализа. В частности, рассмотрим возможность введения влияния малых референтных групп на мнение человека. Обозначим d^* коэффициент, характеризующий влияние на мнение индивида его ближайшего окружения, в качестве модели которого может быть взята окрестность клетки, например, окрестность Мура [5]. Тогда алгоритм, описывающий такое влияние, может быть построен по аналогии с алгоритмом В (и даже просто внесен в него в качестве дополнительного слагаемого), если вместо функции использовать сумму значений состояний клеток из окрестности данной, а вместо коэффициента c^* подставить d^* .

Интерриоризация общественного мнения и мнения малых групп также может быть осуществлена в рамках этого нового алгоритма, для чего потребуется ввести аналоги вышеупомянутых коэффициентов cc^* и dd^* . Теперь изменениям будет подвергаться не состояние клетки, а параметр z , характеризующий собственное отношение индивида к альтернативам. Формальных математических ограничений на значения этих коэффициентов нет, но из соображений адекватности модели необходимо, чтобы выполнялись ограничения $c^* < 1$, $d^* < 1$, $cc^* \ll c^*$ и $dd^* \ll d^*$.

Таким образом, в модифицированной модели используются прежние алгоритмы А и Б, а вместо В применяется следующий алгоритм.

Алгоритм В1 (влияние общественного мнения и малых групп, интериоризация)

$S = \text{North} + \text{North West} + \text{West} + \text{South West} + \text{South} + \text{South East} + \text{East} + \text{North East}$
 if $\psi^* > 0$ then
 if $\text{Center} < 1$ and $r < c * \psi^*$ then $\text{Center} = \text{Center} + 1$
 end if
 if $\psi^* < 0$ then
 if $\text{Center} > -1$ and $r < -c * \psi^*$ then $\text{Center} = \text{Center} - 1$
 end if
 if $S > 0$ then
 if $\text{Center} < 1$ and $r < d * S$ then $\text{Center} = \text{Center} + 1$
 end if
 if $S < 0$ then
 if $\text{Center} > -1$ and $r < -d * S$ then $\text{Center} = \text{Center} - 1$
 end if
 if $\psi^* > 0$ then
 if $z < 1$ and $r < cc * \psi^*$ then $z = z + 1$
 end if
 if $\psi^* < 0$ then
 if $z > -1$ and $r < -cc * \psi^*$ then $z = z - 1$
 end if
 if $S > 0$ then
 if $z < 1$ and $r < dd * S$ then $z = z + 1$
 end if
 if $S < 0$ then
 if $z > -1$ and $r < -dd * S$ then $z = z - 1$
 end if

Вычислительные эксперименты

Предложенный ранее клеточный автомат, как было показано в [1], порождал такую же макродинамику, как и исходная непрерывная модель. При помощи новой модели, учитывающей влияние малых групп и интериоризацию мнений, в среде VBA была построена имитационная система, моделирующая информационное противоборство двух сторон при наличии у части индивидов априорного отношения к двум альтернативам. При помощи этой имитационной системы были повторены все вычислительные эксперименты, описанные в [1], и было показано, что и ее макродинамика соответствует макродинамике непрерывной модели.

Таким образом, новая модель является адекватным аналогом непрерывной модели, но позволяет получать результаты, выходящие за рамки ее применимости. В частности, в рамках новой модели, в отличие от [6], возможно произвольное изменение интенсивностей пропаганды обеих сторон, не обязательно являющееся аналитической или сколь-нибудь гладкой функцией времени.

Это позволило исследовать в рамках настоящей работы вопросы об оптимальном распределении интенсивности пропаганды при одноразовой дестабилизации этой интенсивности, а также при выяснении, каковой может быть оптимальная реакция второй стороны на изменение тактики первой.

В следующих вычислительных экспериментах использовался клеточный автомат на ортогональной решетке 20x20 клеток с окрестностью Мура. В каждом эксперименте начальное распределение мнений совпадало с полем значений собственных мнений z , которое формировалось аналогично [1] для двух случаев: консолидированного и поляризованного обществ при суммарном числе индивидов $N_0 = 400$.

Численности сторонников каждой альтернативы приведены в таблице 1.

Таблица 1. Распределение собственных мнений (они же – начальные значения при проведении экспериментов) индивидов по отношению к альтернативам

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

В первой серии экспериментов рассматривалась возможность одной из сторон однократно усилить пропаганду на некоторый период времени. Было проведено исследование зависимости итогового результата для альтернативы R от соотношения параметров a^* (коэффициента влияния общественного мнения) и c^* (характеризующего затухание изменений мнений индивидов, произошедших под влиянием пропаганды). В экспериментах этой серии были использованы значения параметров $b_L = 10$, $A^* = 0,1$ и рассматривался временной промежуток длительностью 50 шагов по времени, что можно представить как 50 дней ведения пропагандистской кампании.

Предположим, что в любой момент времени партия R имеет возможность повысить уровень интенсивности своей пропаганды b_R до 19 на 5 дней, но при этом в остальные дни он должен был оставаться равным 9, чтобы интегральные интенсивности пропаганды с обеих сторон равными.

Такие эксперименты проводились для случаев консолидированного и поляризованного типов обществ при различных значениях параметров a^* и c^* . Оказалось, что для всех рассмотренных значениях c^* при низких значениях a^* оптимальный результат партии R достигался при повышении интенсивности пропаганды в последние 5 дней, а при высоких – в первые 5 дней. Следует отметить, что ни в одном эксперименте результат R не был оптимальным при каком-либо ином расположении отрезка повышенной интенсивности пропаганды на временной шкале. При этом для каждого рассмотренного множества значений других параметров нашлось некоторое критическое значение a_0^* такое, что при более низких значениях a^* оптимальным является повышение интенсивности в конце периода, а при более высоких – в начале. Пример результатов моделирования пропагандистской кампании при $c^* = 0,1^*$ приведен в таблице 2 (здесь $a_0^* \approx 0,16$).

В ходе вычислительных экспериментов выяснилось, что в некоторой небольшой окрестности точки a_0^* дестабилизация уровня пропаганды приводит к проигрышу альтернативы R по сравнению со стратегией равномерной интенсивности, в то время как при достаточно больших или достаточно малых значениях a^* оптимальный результат R оказывается лучше, чем при использовании стратегии равномерной интенсивности.

Таблица 2. Значения ψ^* по результатам моделирования 50-дневной пропагандистской кампании. Жирным шрифтом выделены оптимальные для партии R результаты

a^*	Повышение интенсивности пропаганды		
	в начале	в середине	в конце
0,1	-0,325	-0,11	0,0575
0,15	-0,1525	-0,08	0,0275
0,16	-0,051	-0,055	-0,045
0,2	0,0375	-0,014	-0,065
0,25	0,38	0,01	-0,36
0,5	0,9125	0,35	-0,8925

Графики типичных зависимостей итоговых количеств сторонников альтернатив R и L от значения a^* приведены на рис. 1.

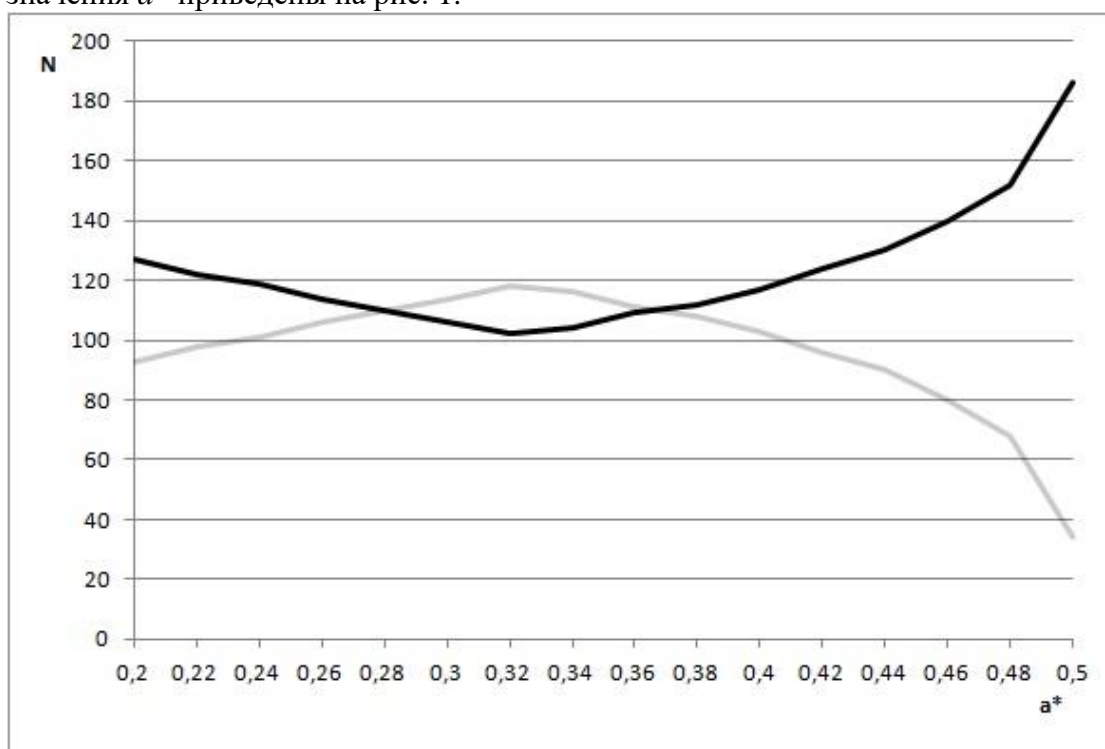


Рис. 1. Зависимости итоговых количеств сторонников альтернатив R (черная кривая) и L (серая кривая) от значения a^*

Вторая серия экспериментов была посвящена рассмотрению оптимального управления с противоположной стороны, то есть вопросы об оптимальных действиях сторонников альтернативы L на изменение интенсивности пропаганды со стороны R. Здесь мы снова предполагаем, что ресурсы двух сторон, предназначенные для ведения кампании, равны. Сторона R в некоторый момент времени постепенно повышает интенсивность пропаганды, а затем – снижает ее до прежнего значения. Возникает вопрос: какая реакция стороны L является в данной ситуации оптимальной?

В качестве возможных действий стороны L рассматривались: 1) продолжение ведения кампании с прежней интенсивностью; 2) равномерное повышение интенсивности на весь период после действий со стороны R; 3) временное повышение интенсивности после действий R с таким же, как у R изменением по времени; 4) действия, аналогичные пунктам 2 и 3, проводимые до начала действий R (разумеется, последний пункт подразумевает осведомленность стороны L о планах R).

Многочисленные вычислительные эксперименты показали, что в данном случае оптимальным управлением со стороны L является третий вариант, то есть повторение действий стороны R с некоторым отставанием.

Характерные результаты моделирования приведены на рис. 2. Здесь сторона R увеличивает интенсивность пропаганды, начиная с шага 4, а сторона L отвечает на это несколькими различными способами, оптимальным из которых является первый сценарий, соответствующий упомянутому выше варианту 3.

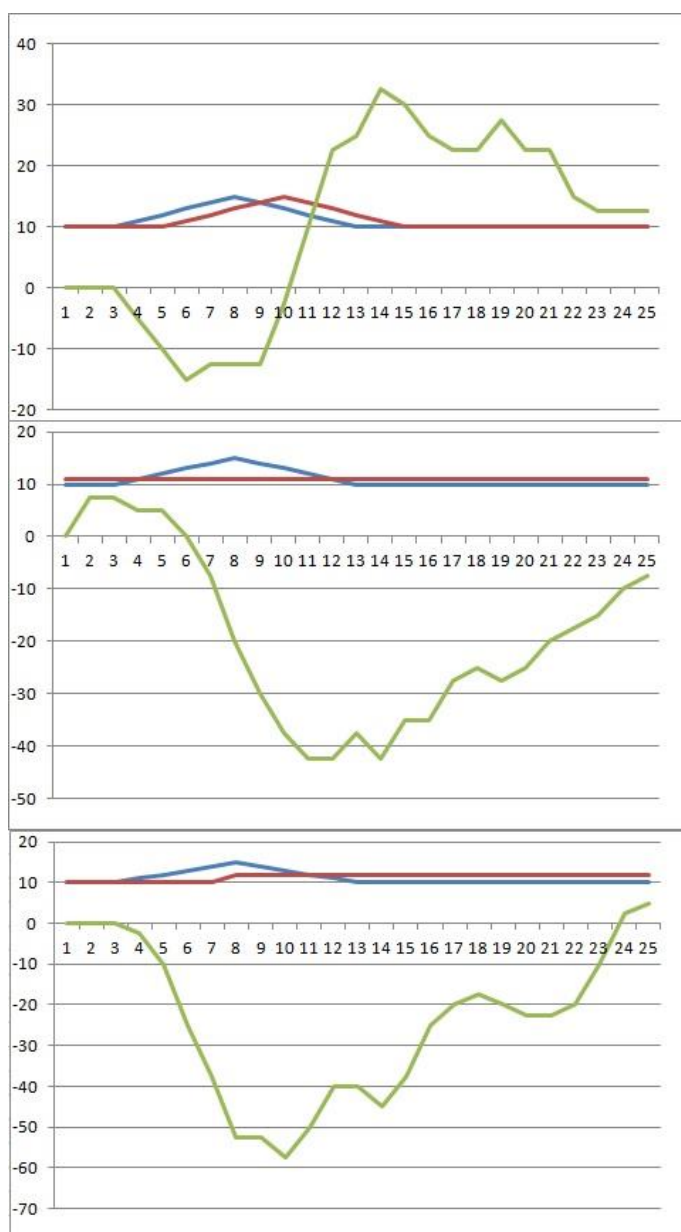


Рис. 2. Зависимости от времени интенсивностей пропаганды альтернативы R (синяя кривая) и L (красная кривая) и превышения численности сторонников L над R (зеленая кривая). Оптимальным для L является первый сценарий

Заключение

Таким образом, новая модификация дискретной модели информационного противоборства соответствует исходной непрерывной модели в области ее применимости, и при этом использование имитационного моделирования позволяет исследовать вопросы, лежащие за рамками этой области.

В ходе таких экспериментов были исследованы вопросы оптимального управления в рамках некоторых сценариев информационного противоборства.

Результаты экспериментов приводят к следующим рекомендациям.

1. Оптимальным управлением для партии R является повышение интенсивности пропаганды в начале агитационного периода при больших (по сравнению с c^*) значениях a^* , и в конце этого периода при малых. Выбор промежуточного момента времени для повышения интенсивности пропаганды не является оптимальным ни в каком случае.

2. Всегда существует критическое значение a_0^* , такое, что при меньших значениях выгоднее повышать интенсивность пропаганды в конце периода агитации, а при больших – в его начале.

3. В небольшой окрестности этого значения оптимальный результат для альтернативы R оказывается хуже результата в отсутствие дестабилизации, для остальных случаев использование дестабилизации приводит к выигрышу альтернативы R.

4. Оптимальным ответом стороны L на действия стороны R является повторение действий R по изменению интенсивности пропаганды с некоторым запаздыванием.

Полученные закономерности имеют место как для консолидированного, так и для поляризованного общества, и можно предположить, что они слабо зависят от начального распределения мнений индивидов.

Литература

1. **Степанцов М.Е.** Замена интегро-дифференциального уравнения клеточным автоматом в модели информационного противоборства // Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2019). Труды конференции, 16–18 октября 2019 г., Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т., 2019. С. 553-558.
2. **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.
3. **Petrov A.P., Lebedev S.A.** Online Political Flashmob: the Case of 632305222316434 // Computational mathematics and information technologies. 2019. No 1. P. 17-28.
4. **Rashevsky N.** Mathematical biophysics: physico-mathematical foundations of biology. – Univ. of Chicago, Chicago Press. – 1938.
5. **Тоффли Т., Марголюс Н.** Машины клеточных автоматов. М: Мир, 1991.
6. **Petrov A., Proncheva O.** Modeling propaganda battle: decision-making, homophily and echo chambers // Artificial Intelligence and Natural Language. AINL 2018. Communications in Computer and Information Science, vol 930. Springer. P. 197-209.