



М.Е.Степанцов

**Моделирование некоторых сценариев
информационного противоборства
при помощи клеточного автомата**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Степанцов М.Е. Моделирование некоторых сценариев информационного противоборства при помощи клеточного автомата // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 5-й Международной конференции (3-4 февраля 2022 г., Москва). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2022. — С. 205-214. — <https://keldysh.ru/future/2022/18.pdf>
<https://doi.org/10.20948/future-2022-18>

Размещено также [видео выступления](#)

Моделирование некоторых сценариев информационного противоборства при помощи клеточного автомата

М.Е. Степанцов

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Аннотация. В работе рассмотрена предложенная автором дискретная модификация непрерывной модели информационного противоборства, основанной на нейрологической схеме Рашевского. Для построения модели использован метод замены интегро-дифференциальных уравнений клеточными автоматами. В новой модели становится возможным описание влияния малых групп на мнение индивида и интериоризации индивидом общественного мнения. Имитационная система, построенная на базе предлагаемой модели, используется для поиска оптимальных вариантов действия в рамках некоторых сценариев информационного противоборства. Получены оптимальные варианты распределения интенсивности пропаганды при одноразовой дестабилизации и запаздывающей (либо опережающей) реакции на изменение интенсивности пропаганды противоборствующей стороной.

Ключевые слова: имитационное моделирование, клеточные автоматы, информационное противоборство

Modeling some scenarios of information warfare using a cellular automaton

M.E. Stepantsov

RAS Keldysh Institute of Applied Mathematics

Abstract. In this paper a discrete modification of the continuous model of information warfare based on Rashevsky's neurological scheme is proposed. The model is obtained by replacing integro-differential equations with cellular automata. The new model now allows the influence of small groups on an individual's opinion as well as interiorization of public opinion by an individual. The simulation system based on the proposed model was used to search for optimal control in certain scenarios of information warfare, namely the problems of optimal distribution of propaganda intensity in case of one-time destabilization and delayed (or advanced) reactions to changes in propaganda intensity by the opposing side.

Keywords: simulation, cellular automata, information warfare

В условиях небывалого роста темпов развития цифровых технологий вопросы информационного противоборства в различных сферах приобретают особую значимость и перестают быть важными лишь для узкого круга специалистов в этой области. Не представляется возможным продолжать решать их только качественными методами, приводящими к неким умозрительным выводам. Проблемы из области информационной безопасности требуют точного количественного подхода и, следовательно, создания надежного математического аппарата, позволяющего такой подход осуществить.

В данной работе рассмотрим модели информационного противоборства [1,2], основанные на нейробиологической схеме Рашевского [3]. Эти модели рассматривают простейший случай агитационной или рекламной кампании, когда речь идет о выборе индивидами одной из двух позиций по некоторому вопросу, например, какую из партий – L или R – поддержать на выборах. При этом у некоторых индивидов существует априорное мнение по этому вопросу, а у других оно изначально не определено.

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

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

с начальным условием, задаваемым в виде

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

Здесь функция $\psi(t)$ определяет сдвиг предпочтений индивидов под влиянием пропаганды, давая численность сторонников партий L и R в виде

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

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

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, интенсивность влияния пропаганды альтернатив R и L , общественного мнения, способность индивидов менять свое мнение и «затухание» таких изменений.

Образ такой модели можно представить в виде небоскреба, примерно половина которого затоплена водой, уровень которой и показывает величина ψ . На разных этажах небоскреба находится различное количество людей (функция $N(\varphi)$). Нахождение под водой аналогично одной из точек зрения, над водой – противоположной. Пропаганда и мнение всего сообщества людей в целом смещают уровень «воды», меняя сиюминутную точку зрения некоторых людей на противоположную.

Данная модель позволила провести успешные исследования некоторых сценариев информационного противоборства [2,4]. Вместе с тем модель имеет ряд очевидных слабостей. Так, информационное противоборство зачастую осуществляется при активной позиции обеих сторон, в частности, меняющих b_R и b_L достаточно произвольным образом. Превращение этих параметров в функции от времени, возможно, неаналитические, заметно усложняет решение уравнения (1).

Кроме того, данная модель не учитывает влияние на мнение индивида малых групп (друзей, родственников, других референтных личностей), а также возможности интериоризации общественного мнения. Последняя представляет собой явление, при котором меняется не сиюминутное мнение индивида, а его собственный, априорный взгляд. То есть речь должна идти о зависимости функции $N(\varphi)$ также и от времени, что трудно реализуемо в рамках представленной модели.

Дискретная модель

Всех перечисленных недостатков лишена предлагаемая дискретная модель, представляющая собой двумерный 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 априорное состояние взглядов индивида.

Было доказано [5], что последовательное применение на каждом шаге по времени к каждой клетке трех алгоритмов, приводимых ниже, приводит при правильном подборе коэффициентов 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

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 (априорное 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 является аналогом исходной непрерывной модели, имеет совпадающую с той макродинамику при принципиально иной микродинамике. При этом следует упомянуть, что на микроуровне дискретная модель более адекватна моделируемой реальности, чем исходная непрерывная.

Однако клеточно-автоматная природа дискретной модели никак не была использована в вышеизложенном ее варианте, в то время как она дает возможность, используя подход имитационного моделирования, расширить границы применимости модели.

В предлагаемой модификации дискретной модели предлагается учесть упомянутые выше аспекты взаимодействия индивида с обществом в рамках информационного противоборства, каковые невозможно исследо-

вать при помощи классических методов анализа. В частности, рассмотрим возможность моделирования 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 [6]. 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 введена в новую модель, для чего следует определить аналоги коэффициентов c^* и d^* , которые можно обозначить cc^* и dd^* . Теперь изменяться по тем же правилам будет не состояние клетки, а параметр z , характеризующий собственное отношение индивида к альтернативам. Формальных ограничений на значения новых коэффициентов нет, но из соображений адекватности модели необходимо, чтобы выполнялись ограничения $c^* < 1$, $d^* < 1$, $cc^* \ll c^*$ и $dd^* \ll d^*$, то есть, чтобы внутренняя позиция индивида не менялась быстрее, чем его общественно одобряемая «маска».

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

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

$S = \text{North} + \text{NorthWest} + \text{West} + \text{SouthWest} + \text{South} + \text{SouthEast} + \text{East} + \text{NorthEast}$

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

На основе этой новой модели 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 [5], и было показано, что ее макродинамика, как и в случае первой дискретной модели, соответствует макродинамике непрерывной модели.

Таким образом, предлагаемая модель является адекватным аналогом непрерывной модели, но позволяет получать результаты, выходящие за рамки ее применимости. В частности, в рамках новой модели, в отличие от [4], возможно произвольное изменение интенсивностей пропаганды обеих сторон, не обязательно являющееся аналитической или сколь-нибудь гладкой функцией времени.

Это дает возможность 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 20×20 клеток с окрестностью Мура. В каждом эксперименте начальное распределение мнений совпадало с полем значений собственных мнений z , которое формировалось аналогично [5] для двух случаев: консолидированного и поляризованного обществ при суммарном числе индивидов $N_0 = 400$. Численности сторонников каждой альтернативы приведены в табл. 1.

Таблица 1. Распределение априорных 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 аль-

тернативы 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 были 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 табл. 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. Курсивом выделены оптимальные для партии R результаты

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

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

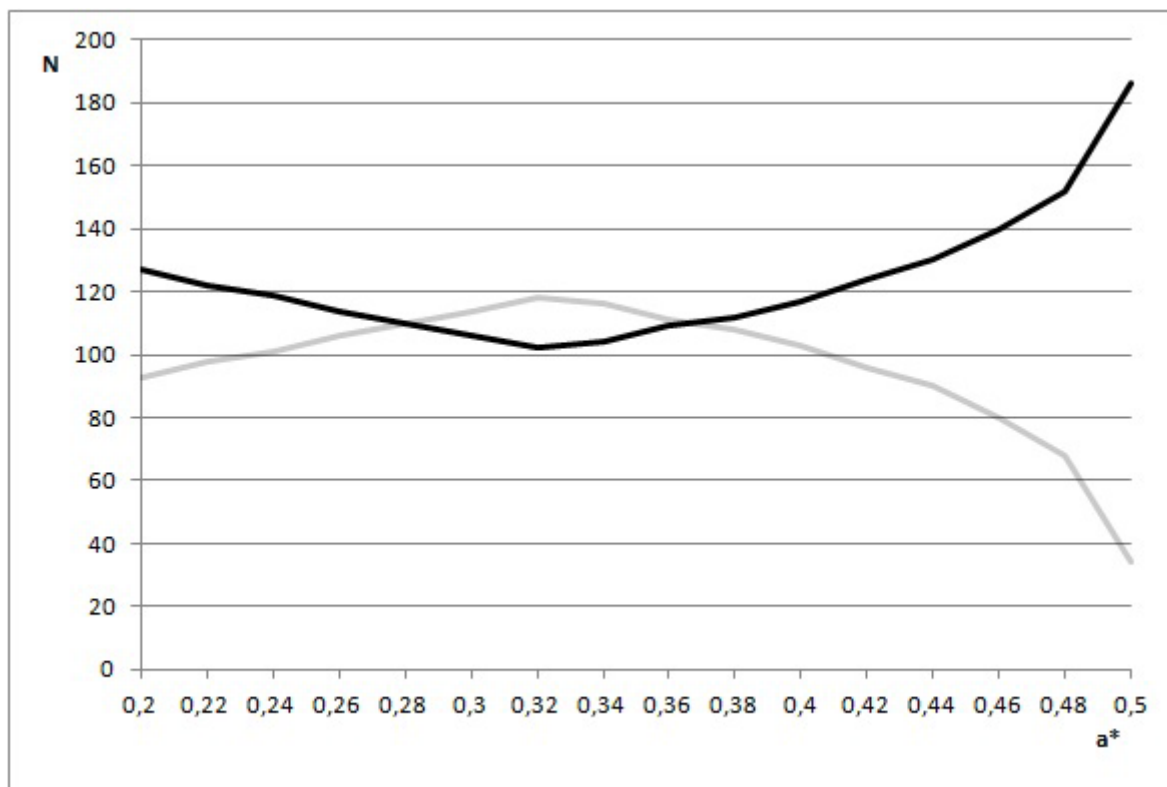


Рис. 1. Зависимости итоговых количеств сторонников альтернатив R (черная кривая) и L (серая кривая) от значения a^*

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.

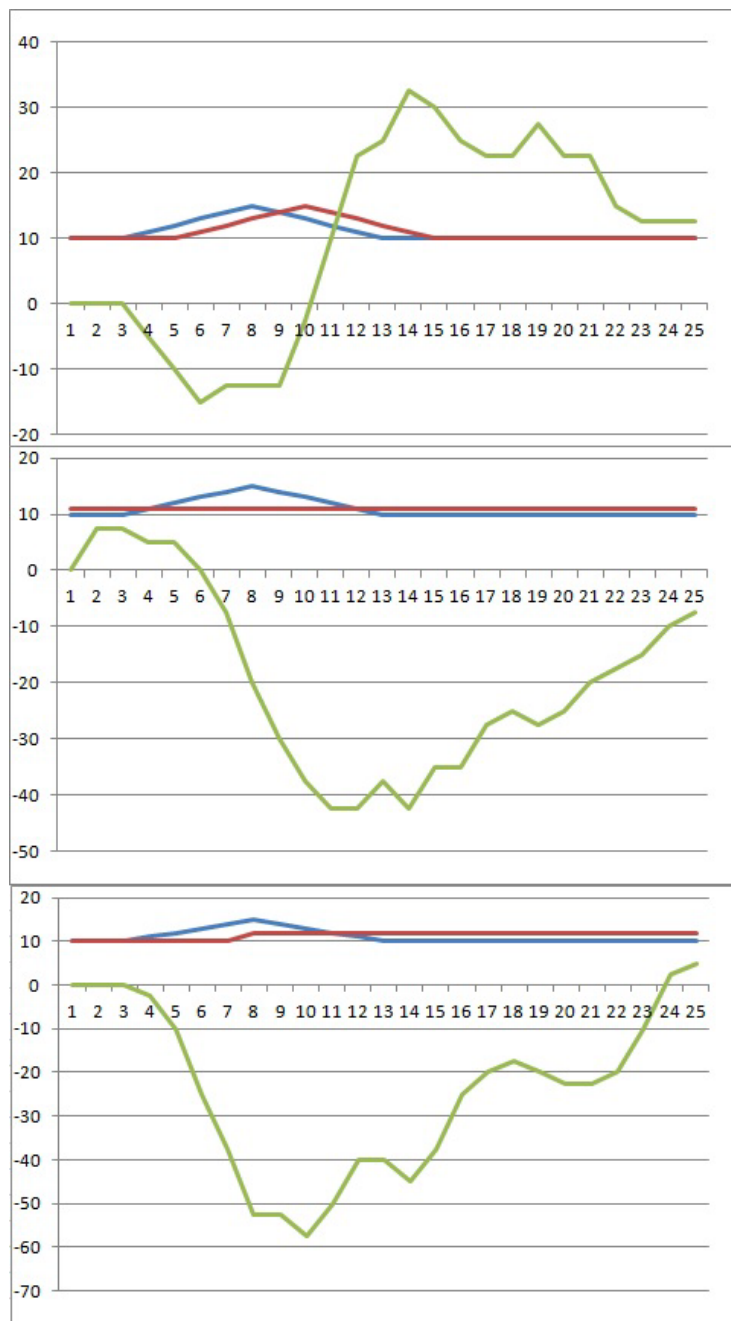


Рис. 2. Зависимости от времени интенсивностей пропаганды альтернативы R (синяя кривая) и L (красная кривая) и превышения численности сторонников L над R (зеленая кривая). Оптимальным для L является первый сценарий

Заключение

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

В ходе таких исследований получены следующие результаты, формулируемые в форме рекомендаций:

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 верны как для консолидированного, так и для поляризованного общества. Можно предположить, что они слабо зависят от начального распределения мнений индивидов.

Литература

1. Петров А.П., Маслов А.И., Цаплин Н.А. Моделирование выбора позиций индивидами при информационном противоборстве в социуме // Математическое моделирование. 27(12), 137-148 (2015).
2. Petrov A.P., Lebedev S.A. Online political flashmob: The Case of 632305222316434 // Computational mathematics and information technologies. 2019, N1, 17–28.
3. Rashevsky N. Mathematical biophysics: physico-mathematical foundations of biology. – Univ. of Chicago, Chicago Press. – 1938.
4. 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.
5. Степанцов М.Е. Замена интегро-дифференциального уравнения клеточным автоматом в модели информационного противоборства // Труды Девятой всероссийской научно-практической конференции по

имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика». – Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т., 2019.– С. 553-558.

6. *Тоффоли Т., Марголюс Н.* Машины клеточных автоматов. – М: Мир, 1991.