

УДК: 51-77

## Моделирование динамики политических позиций: плотность сети и шансы меньшинства

А. П. Петров<sup>1,a</sup>, О. Г. Подлипская<sup>2,b</sup>, О. К. Подлипский<sup>2,c</sup>

<sup>1</sup>Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН,  
Россия, 125047, г. Москва, Миусская пл., д. 4

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),  
Россия, 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9

E-mail: <sup>a</sup> i@alexander-petrov.ru, <sup>b</sup> podlipskaya.og@phystech.edu, <sup>c</sup> ok@phystech.edu

Получено 21.02.2024, после доработки — 01.04.2024.  
Принято к публикации 23.04.2024.

Некоторые информационные противоборства завершаются тем, что практически все общество принимает одну точку зрения, другие приводят к тому, что партия большинства получает лишь небольшой перевес над партией меньшинства. Возникает вопрос о том, какие сетевые характеристики общества способствуют тому, чтобы меньшинство могло сохранять некоторую значимую численность. С учетом того, что некоторые общества являются более связными, чем другие, в смысле того, что они имеют более высокую плотность социальных связей, данный вопрос конкретизируется следующим образом: какой эффект плотности социальных связей оказывается на шансы меньшинства сохранить не слишком малую численность? Способствует ли более высокая плотность более полной победе большинства или, наоборот, шансам меньшинства? Для изучения этого вопроса рассматривается информационное противоборство двух партий, называемых левой и правой, в населении, представленном в виде сети, узлами которой являются индивиды, а связи соответствуют их знакомству и описывают взаимное влияние. В каждый из дискретных моментов времени каждый индивид принимает решение о поддержке той или иной партии, основываясь на своей установке, т. е. предрасположенности к левой либо правой партии, и учитывая влияние своих соседей по сети. Влияние состоит в том, что каждый сосед с определенной вероятностью посылает данному индивиду сигнал в пользу той партии, которую сам в данный момент поддерживает. Если сосед меняет свою партийность, то он начинает агитировать данного индивида за свою «новую» партию. Такие процессы создают динамику, т. е. протяженное во времени изменение партийности индивидов. Продолжительность противоборства является экзогенно заданной, последний момент может быть условно ассоциирован с днем выборов. Изложенная модель численно реализована на безмасштабной сети. Проведены численные эксперименты для различных значений плотности сети. Ввиду наличия стохастических элементов в модели, для каждого значения плотности проведено 200 прогонов, для каждого из которых определена конечная численность сторонников каждой из партий. Получено, что при увеличении плотности увеличиваются шансы того, что победившая точка зрения охватит практически все население. И наоборот, низкая плотность сети способствует шансам меньшинства сохранить значимую численность.

Ключевые слова: информационное противоборство, агентно-ориентированное моделирование, безмасштабные сети, плотность сети, эхо-камеры

UDC: 51-77

## Modeling the dynamics of political positions: network density and the chances of minority

A. P. Petrov<sup>1,a</sup>, O. G. Podlipskaia<sup>2,b</sup>, O. K. Podlipkii<sup>2,c</sup>

<sup>1</sup>Keldysh Institute of Applied Mathematics,  
4 Miusskaya sq., Moscow, 125047, Russia

<sup>2</sup>Moscow Institute of Physics and Technology,  
9 Institutskiy per., Dolgoprudny, 141701, Russia

E-mail: <sup>a</sup> i@alexander-petrov.ru, <sup>b</sup> podlipskaya.og@phystech.edu, <sup>c</sup> ok@phystech.edu

*Received 21.02.2024, after completion — 01.04.2024.*

*Accepted for publication 23.04.2024.*

In some cases, information warfare results in almost whole population accepting one of two contesting points of view and rejecting the other. In other cases, however, the “majority party” gets only a small advantage over the “minority party”. The relevant question is which network characteristics of a population contribute to the minority being able to maintain some significant numbers. Given that some societies are more connected than others, in the sense that they have a higher density of social ties, this question is specified as follows: how does the density of social ties affect the chances of a minority to maintain a significant number? Does a higher density contribute to a landslide victory of majority, or to resistance of minority? To address this issue, we consider information warfare between two parties, called the Left and the Right, in the population, which is represented as a network, the nodes of which are individuals, and the connections correspond to their acquaintance and describe mutual influence. At each of the discrete points in time, each individual decides which party to support based on their attitude, i. e. predisposition to the Left or Right party and taking into account the influence of his network ties. The influence means here that each tie sends a cue with a certain probability to the individual in question in favor of the party that themselves currently support. If the tie switches their party affiliation, they begin to agitate the individual in question for their “new” party. Such processes create dynamics, i. e. the process of changing the partisanship of individuals. The duration of the warfare is exogenously set, with the final time point roughly associated with the election day. The described model is numerically implemented on a scale-free network. Numerical experiments have been carried out for various values of network density. Because of the presence of stochastic elements in the model, 200 runs were conducted for each density value, for each of which the final number of supporters of each of the parties was calculated. It is found that with higher density, the chances increase that the winner will cover almost the entire population. Conversely, low network density contributes to the chances of a minority to maintain significant numbers.

Keywords: information warfare, agent-based modeling, scale-free networks, network density, echo chambers

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 785–796 (Russian).

## Введение

Один из феноменов информационного противоборства состоит в том, что численная разница между партией большинства и партией меньшинства иногда бывает минимальной, а иногда — наоборот, к большинству принадлежат почти все члены социума. Этот феномен не исчерпывается теми случаями, когда информационное меньшинство является лишь отражением социально-экономических размежеваний: например, когда религиозное меньшинство в некоторых контекстах становится информационно обособленной группой.

Применительно к тематике информационного противоборства наибольший интерес представляют ситуации, в которых социально обусловленная предрасположенность члена социума к поддержке той или иной стороны (партии) не имеет решающего характера: например, индивид, ввиду своего социального статуса и идеологических воззрений, предрасположенный к поддержке левой партии, при определенных обстоятельствах может стать сторонником правой.

Такие ситуации являются принципиально сетевыми в том смысле, что политическая позиция члена социума в значительной степени определяется его социальным окружением. Для анализа информационного противоборства в такой ситуации широко принятым подходом [Chkhartishvili, Gubanov, Novikov, 2019; Chkhartishvili, Gubanov, 2021; Жеглов, 2022] является представление населения в виде социальной сети, идентифицируемой с графом, вершинами которого являются индивиды, а ребрами — связи между ними.

Традиционно для моделирования социальных связей используются безмасштабные сети. В настоящее время, хотя безмасштабный характер социальных сетей оспаривается [Broido, Clauset, 2019], они продолжают широко использоваться для данного класса процессов (например, [Guilbeault, Centola, 2021]), хотя нередко в комбинации с экспериментами, проводимыми на сетях другого вида [Yoshikawa et al., 2020; Petrov, Akhremenko, Zheglov, 2023].

Агентно-ориентированное моделирование на социальных сетях позволяет описать меньшинство как одну или совокупность нескольких эхо-камер (см., например, [Cinelli et al., 2021]) — социальных структур, способных поддерживать свою информационную инаковость за счет значительного количества внутренних коммуникаций. Другими словами, член эхо-камеры находится главным образом в коммуникации с другими членами этой эхо-камеры так, что они создают друг для друга локальный информационный климат, отличный от того, в котором находится внешняя по отношению к эхо-камере часть общества. В некотором упрощении это можно представить так, что одна из противоборствующих партий численно доминирует в обществе и, может быть, даже контролирует средства массовой информации. Однако члены другой партии тесно коммуницируют друг с другом так, что каждый из них окружен по большей части единомышленниками. Каждый из них находится в положении «большинство моих друзей думает так же, как я». Этот локальный информационный климат позволяет каждому из членов эхо-камеры сохранять свою приверженность меньшинству.

Соответственно, возникает вопрос о том, как свойства сети влияют на шансы меньшинства на информационное выживание. Настоящая работа посвящена изучению вопроса о том, как влияет на эти шансы такой параметр, как плотность сети. А именно, при одном и том же множестве индивидов количество связей может быть как сравнительно малым (в среднем каждый индивид знает мало других людей), так и сравнительно большим (в среднем каждый знает многих других). Вопрос состоит в том, способствует ли более высокая плотность более полной победе большинства или, наоборот, шансам меньшинства. Подчеркнем, что данный вопрос принципиально не может быть рассмотрен в рамках макроподхода, оперирующего лишь такими переменными, как общая численность сторонников той и иной партии (например, [Mikhailov, Pronchev, Proncheva, 2019]).

В следующих разделах проводится построение агентно-ориентированной модели, имитирующей распространение в группе (понимаемой как социальная сеть) двух конкурирующих потоков информации, например слухов, распускаемых противостоящими силами. С моделью проводятся численные эксперименты, при этом плотность сети варьируется. По итогам экспериментов численность сторонников партии, проигравшей информационное противостояние, изучается как функция плотности сети.

## Модель

Представленная в настоящем разделе модель восходит к модели принятия решения (называемой также моделью подражательного поведения) Рашевского, известной с 1930-х годов [Rashevsky, 1933; Рашевский, 1966]. В ней вводится модель индивида, находящегося в положении постоянного выбора между двумя альтернативными вариантами поведения. В моделях информационного противостояния это осмысливается как выбор между поддержкой одной из двух партий.

Рассматривается информационное противостояние двух партий, которые будем называть левой и правой, в населении, состоящем из  $N$  индивидов, которых будем обозначать через  $s_1, \dots, s_N$ . В модели это население представляется в виде сети, узлами которой являются индивиды, а связи соответствуют их знакомству и описывают взаимное влияние. Время в модели является дискретным:  $t = 0, 1, 2, \dots$ , и в каждый момент времени каждый из индивидов является сторонником той или иной партии. Динамика возникает ввиду того, что агенты влияют друг на друга: например, если для некоторого индивида все соседи по сети поддерживают правую партию, то они создают для него мотивацию также быть сторонником правой. Информационное противостояние считается конечным по времени:  $0 \leq t \leq T$ . Последний момент  $t = T$  можно условно представлять как день выборов. Таким образом, в модели не ставится вопрос о существовании стационарного состояния.

Рассмотрим более подробно принятие агентом (индивидом, членом населения) решения о том, какую партию поддерживать. Это решение принимается в каждый момент времени, и при изменении партийности членов сетевого окружения данного индивида оно тоже может меняться.

Положим, что  $i$ -й агент в момент времени  $t$  поддерживает левую партию, если его латентная позиция  $\lambda_i(t) = \varphi_i + \psi_i(t) < 0$ , и правую партию, если  $\lambda_i(t) \geq 0$ . Здесь параметр  $\varphi_i$  ( $-1 \leq \varphi_i \leq 1$ ) является экзогенно заданным и характеризует установку данного индивида, т. е. его долгосрочную, сформировавшуюся до данного противостояния и постоянную на его протяжении предрасположенность к поддержке той или иной партии. В численных экспериментах значение  $\varphi_i$  генерируется как реализация случайной величины, имеющей равномерное на  $[-1; 1]$  распределение. Переменную  $\psi_i(t)$  будем называть динамической компонентой политической позиции  $i$ -го индивида. Ее динамика определяется влиянием соседей по сети, а пределы изменения — параметрами модели.

Таким образом, первая компонента (установка) постоянна во времени на протяжении противостояния, но варьируется от индивида к индивиду. Вторая, динамическая, компонента меняется с течением времени, но имеет одно и то же значение для всех индивидов.

Рассмотрим более подробно агента  $s_i$  и формирование его динамической компоненты  $\psi_i(t)$ . В момент времени  $t$  агент  $s_i$  получает сигналы от каждого из агентов  $s_j$ , которые на него влияют (т. е. от индивидов, связанных с ним по сети). Акт влияния описывается тем, что каждый из влияющих агентов  $s_j$  посылает ему с вероятностью  $p_{ij}$  пропагандистское сообщение той стороны, к которой он сам принадлежит в момент  $t$ .

Вероятности  $p_{ij}$  независимы друг от друга (в частности,  $p_{ij}$  и  $p_{ji}$  взаимно независимы) и имеют смысл интенсивностей влияния; они образуют матрицу влияния, на диагонали которой стоят нули. Эта матрица является, вообще говоря, несимметричной. Другими словами, если

два узла соединены ребром, то индивиды оказывают друг на друга влияние, которое является, вообще говоря, несимметричным.

Таким образом, по каждому из агентов  $s_j$ , связанных с  $s_i$ , проводится статистическое испытание:  $s_i$  получает от  $s_j$  сигнал с вероятностью  $p_{ij}$ ; этот сигнал представляет собой сообщение в поддержку той партии, которую в момент  $t$  поддерживает  $s_j$ .

Затем рассматриваемый агент  $s_i$  суммирует все сигналы, которые он получил ( $l_i(t)$  — со стороны левой партии,  $r_i(t)$  — со стороны правой партии), и на их основании определяет значение своей динамической компоненты в момент  $t + 1$  в соответствии с уравнением

$$\psi_i(t + 1) - \psi_i(t) = c(r_i(t) - l_i(t)) - a\psi_i(t), \quad (1)$$

где  $c > 0$ ,  $0 < a \leq 1$ . Параметр  $c$  описывает, насколько сильно влияют соседи на мнение индивида. Параметр  $a$  описывает скорость релаксации. Таким образом, уравнение отражает известное положение о наличии релаксации: когда аннулируется стимул, т. е. влияние сетевых связей индивида (формально: если положить  $c = 0$ ), то возбуждение (динамическая компонента) устремится к нулю [Rashevsky, 1933; Рашевский, 1966]. Заметим, что наличие механизма релаксации, т. е. положительность коэффициента  $a$  в уравнении (1), приводит к ограниченности функции  $\psi(t)$ . С помощью уравнения (1) вычисляется  $\psi_i(t + 1)$  и на основании его значения определяется партийность  $i$ -го индивида в момент  $t + 1$ .

## Реализация модели

Поскольку сеть данной модели репрезентирует социальные связи, то она генерируется как безмасштабная.

Для каждого фиксированного набора параметров проводилось 200 прогонов, каждый из которых содержал четыре случайные компоненты:

- 1) сеть генерируется в соответствии с алгоритмом Барабаши – Альберт, при этом количество связей  $m$  у каждой новой вершины принималось в качестве манипулируемого параметра, а начальное количество вершин принималось равным  $m_0 = m + 1$ ;
- 2) для каждой вершины сети — установка  $\varphi_i$ , генерируемая как реализация случайной величины, имеющей равномерное на  $[-1; 1]$  распределение;
- 3) для каждого ребра сети — пара вероятностей  $p_{ij}$ ,  $p_{ji}$ , каждая из которых генерируется независимо от другой как реализация равномерно распределенной на  $[0; 1]$  случайной величины;
- 4) на каждом шаге динамического процесса — влияние или отсутствие влияния каждого из агентов на каждого из своих соседей по сети в соответствии с указанными вероятностями.

Каждый из прогонов начинался с генерации сети и параметров  $\varphi_i$ ,  $p_{ij}$ ,  $p_{ji}$ , после чего запускался динамический процесс.

В начальный момент времени динамическая компонента для каждого агента равна нулю:  $\psi_i(0) = 0$ ; тем самым его партийность в этот момент полностью определяется установкой.

В соответствии с этой начальной партийностью агенты вероятностно влияют друг на друга, на основании чего для каждого из них формируются значения переменных  $l_i(0)$ ,  $r_i(0)$  (т. е. количества сигналов, полученных соответственно со стороны левой и правой партий), и в соответствии с уравнением (1) определяются значения  $\psi_i(1)$  и тем самым партийность индивида в момент  $t = 1$ .

Далее процесс пошагово повторяется до последнего момента (дня выборов)  $t = T$ .



На этом прогон заканчивался; для него фиксировались численности левой и правой партии в начальный момент и в последний момент противостояния:  $L(0)$ ,  $R(0)$ ,  $L(T)$ ,  $R(T)$ , а также строились графики изменения численностей сторонников партий в зависимости от времени:  $L(t)$ ,  $R(t)$ .

По итогам всех прогонов для данного набора параметров строились гистограммы полученных распределений  $L(T)$ ,  $R(T)$ .

Перед тем как перейти к изложению результатов, вычислим значения плотности сети для каждого из этих значений. В системе из  $N = 1000$  индивидов максимально возможное количество связей равно  $C_{1000}^2 = 499\,500$ .

При  $m = 2$  каждая из  $N - m_0 = 997$  новых вершин создает два ребра; таким образом, к  $m = 2$  стартовым ребрам добавляется 1994 ребра, и плотность сети равна

$$\rho_2 = \frac{1996}{499\,500} = 0,004.$$

Аналогично: для  $m = 3$  и  $m = 4$  имеем соответственно

$$\rho_3 = \frac{3 + 996 \cdot 3}{499\,500} = 0,00599,$$

$$\rho_4 = \frac{4 + 995 \cdot 4}{499\,500} = 0,00798.$$

## Результаты

### Эксперимент 1

Примем следующие значения параметров:

$$N = 1000, \quad a = 0,2, \quad c = 1, \quad T = 50.$$

Для параметра  $m$  принимались значения  $m = 2$ ,  $m = 3$ ,  $m = 4$ .

На рис. 1 в иллюстративных целях представлены графики изменения численностей  $L(t)$ ,  $R(t)$  сторонников партий в зависимости от времени для двух прогонов, относящихся к случаю  $m = 3$ . Левый график соответствует наиболее типичной ситуации, в которой одна из сторон (левая партия) с течением времени увеличивает свое преимущество почти монотонным образом, так, что к последнему моменту времени все или почти все индивиды являются ее сторонниками. Правый график соответствует менее типичной ситуации, в которой лидерство с течением времени менялось и общий ход противостояния является немонотонным.

Гистограммы распределений конечной численности сторонников левой партии  $L(T)$  для различных значений параметра  $m$  (т. е. для сетей различной плотности) представлены на рис. 2.

Основной вывод состоит в том, что высокая плотность сети способствует более полной победе одной из сторон. Действительно, при  $\rho = 0,00599$  и  $\rho = 0,00798$  ( $m = 3$  и  $m = 4$ ) в подавляющем большинстве прогонов левая партия имеет либо менее 100, либо более 900 сторонников (из 1000) на конец противостояния. Например, в эксперименте с  $\rho = 0,00599$  в 51 прогоне из 200 победившую партию в последний момент времени поддерживали все 1000 агентов.

В то же время при  $\rho = 0,004$  ( $m = 2$ ) в значительной доле прогонов левая партия получает к концу противостояния количество сторонников, не столь далекое от половины всех индивидов. Ни в одном из экспериментов победитель не имел более чем 950 сторонников.

Таким образом, при более высокой плотности сети победившая сторона имеет существенно большее превосходство над проигравшей. В 163 прогонах из 200 при  $m = 4$  (и в 50 случаях из 200 при  $m = 3$ ) проигравшей стороне удается вообще не создать эхо-камеру, так что в конце расчета поддерживают все 1000 агентов социума поддерживают одну партию.

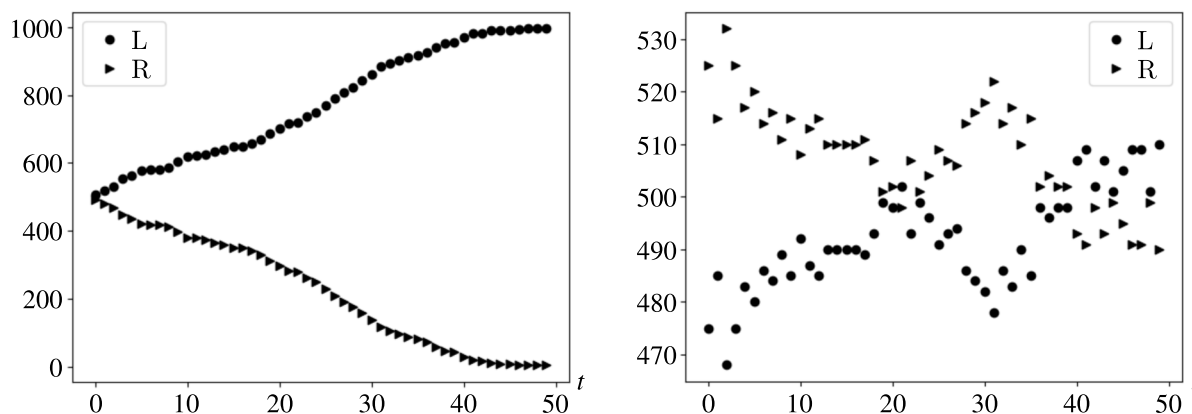


Рис. 1. Эксперимент 1: динамика численностей сторонников левой ( $L$ ) и правой ( $R$ ) партий для случая  $m = 3$  (плотность сети —  $\rho = 0,00599$ ). Приведены графики для двух прогонов модели. Абсцисса: время. Ордината: численности сторонников каждой из партий

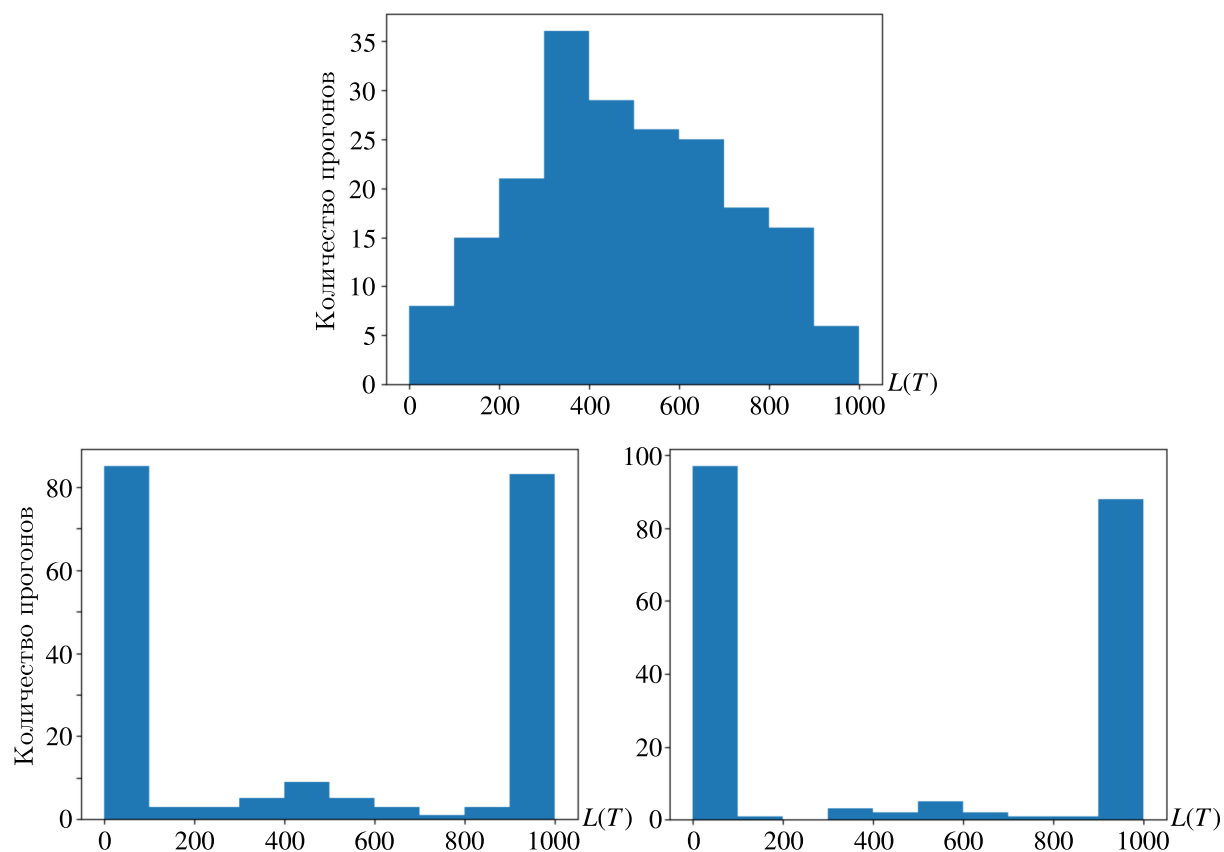


Рис. 2. Эксперимент 1: количество прогонов, в которых была достигнута данная численность сторонников левой партии при различной плотности сети:  $\rho = 0,004$  (вверху),  $\rho = 0,00599$  (слева снизу),  $\rho = 0,00798$  (справа снизу). Абсцисса:  $L(T)$  — численность сторонников левой партии в конечный момент времени. Ордината: количество прогонов, в которых был получен соответствующий результат

Рисунок 3 иллюстрирует на материале данного эксперимента, что в сети более высокой плотности формирование относительно стабильного соотношения численностей сторонников партий происходит быстрее, чем для сети низкой плотности.

Данная закономерность имеет место и в других экспериментах.

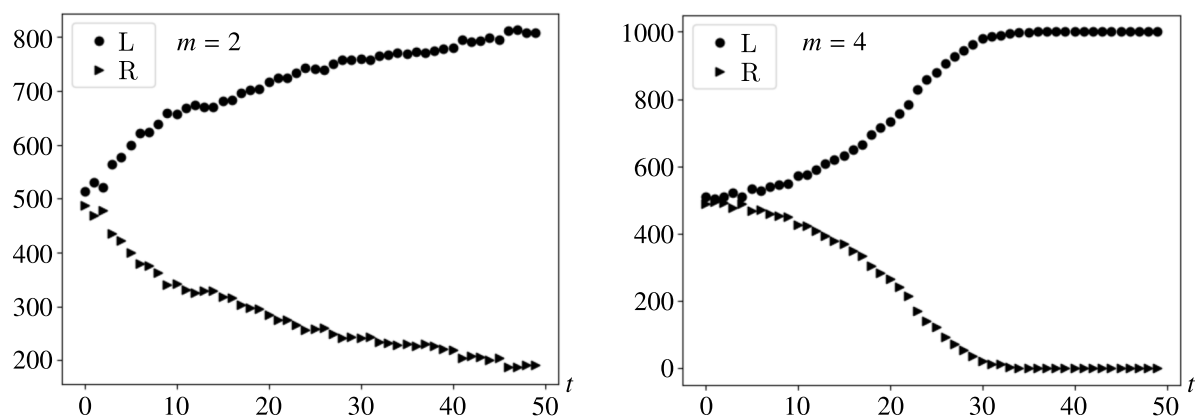


Рис. 3. Эксперимент 1: динамика численностей сторонников левой ( $L$ ) и правой ( $R$ ) партий при различных значениях плотностей сети:  $\rho = 0,004$  (слева),  $\rho = 0,00798$  (справа). Абсцисса: время. Ордината: численности сторонников каждой из партий

## Эксперимент 2

Примем следующие значения параметров:

$$N = 1000, \quad a = 1, \quad c = 0,2, \quad T = 50.$$

Для параметра  $m$  принимались значения  $m = 2, m = 3, m = 4$ . Таким образом, отличия от эксперимента 1 состоят лишь в значениях параметров  $a, c$ .

На рис. 4 в иллюстративных целях представлены графики изменения численностей  $L(t), R(t)$  сторонников партий в зависимости от времени для двух прогонов, относящихся к случаю  $m = 3$ . Например, на левом графике проигрывающей стороне удастся сохранить своих сторонников как довольно крупную эхо-камеру, которая с течением времени оказывается способной несколько увеличить свою численность.

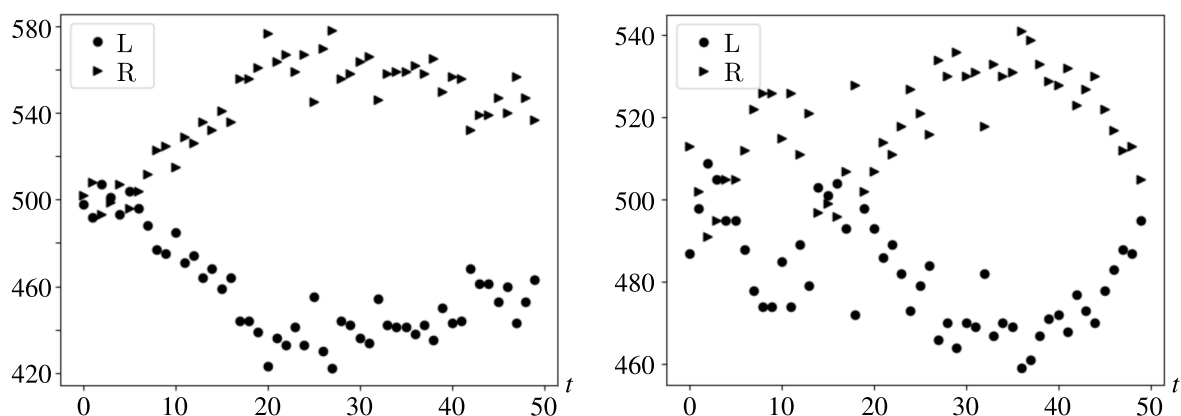


Рис. 4. Эксперимент 2: динамика численностей сторонников левой ( $L$ ) и правой ( $R$ ) партий для случая  $m = 3$  (плотность сети  $\rho = 0,00599$ ). Приведены графики для двух прогонов модели. Абсцисса: время. Ордината: численность сторонников каждой партии

Гистограммы распределений конечной численности сторонников левой партии  $L(T)$  для различных значений плотности сети представлены на рис. 5.

Данный эксперимент подтверждает полученную в эксперименте 1 закономерность, что высокая плотность сети способствует более полной победе одной из сторон. Действительно,



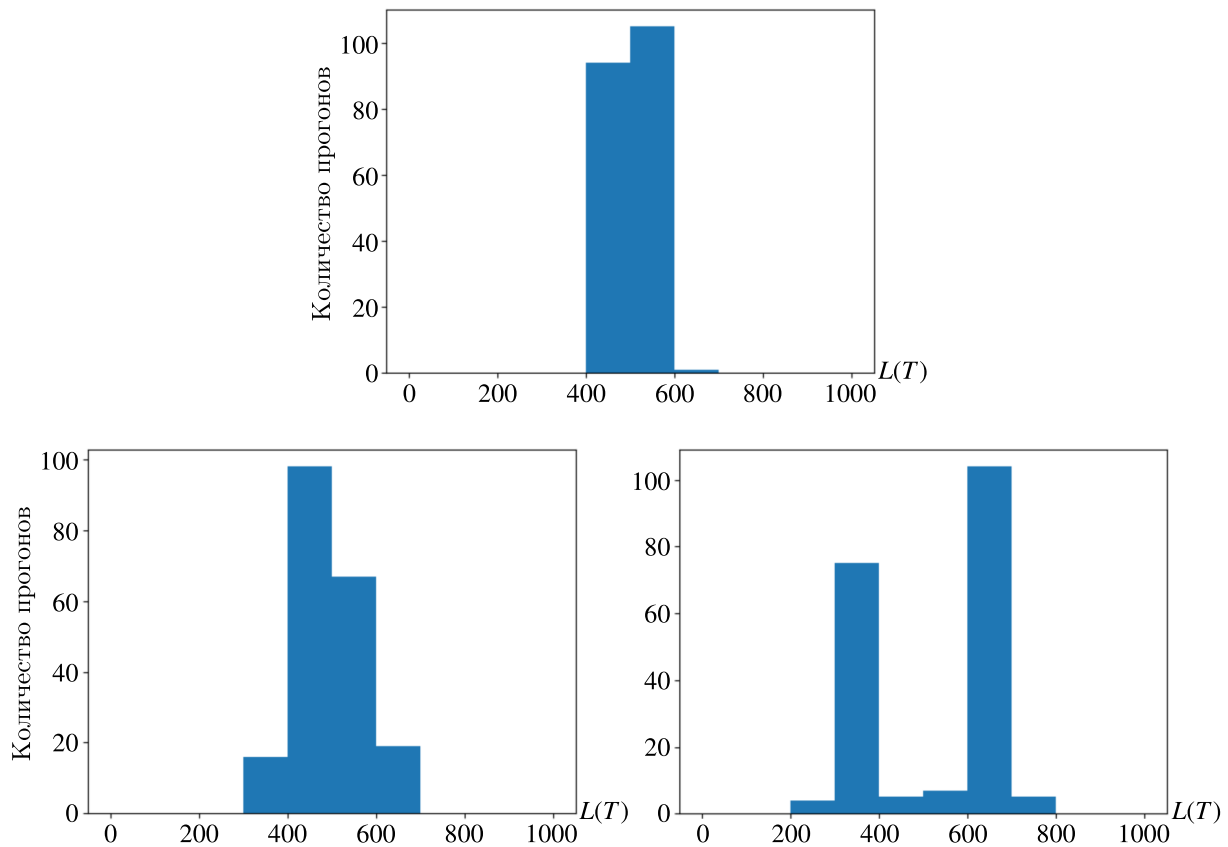


Рис. 5. Эксперимент 2: количество прогонов, в которых была достигнута данная численность сторонников левой партии при различной плотности сети:  $\rho = 0,004$  (вверху),  $\rho = 0,00599$  (слева снизу),  $\rho = 0,00798$  (справа снизу). Абсцисса:  $L(T)$  — численность сторонников левой партии в конечный момент времени. Ордината: количество прогонов, в которых был получен соответствующий результат

при  $\rho = 0,004$  ( $m = 2$ ) почти во всех прогонах победившая сторона имеет 500–600 сторонников на конец противоборства, а проигравшая — 400–500. При самой высокой плотности из рассматриваемых ( $\rho = 0,00798$ ;  $m = 4$ ) в подавляющем большинстве прогонов победившая партия имеет 600–700 сторонников на конец противоборства, а проигравшая — 300–400.

## Заключение

Основной полученный результат состоит в том, что высокая плотность социальных связей способствует тому, что информационное большинство охватило практически все общество. Соответственно, низкая плотность способствует сохранению информационного меньшинства так, что в обществе будут в соизмеримой мере присутствовать обе политические позиции.

Этот результат находится в определенной смысловой связи с тем, что меньшинству удастся выжить путем создания эхо-камеры так, что коммуникации внутри нее являются более плотными, чем коммуникации между ее членами, с одной стороны, и внешними по отношению к этой эхо-камере индивидами — с другой. Другими словами, интуитивно понятная закономерность относительно шансов информационного меньшинства на выживание относится скорее к неравномерности связей на множестве индивидов, чем к ее плотности. С учетом того, что сети в модели и, с определенной точностью, в реальных обществах являются безмасштабными, т. е. в обязательном порядке содержат малое количество индивидов с большим количеством связей,

то эго-окрестности этих индивидов представляют собой сгустки сетевой плотности, которые потенциально способны создавать эго-камеры. Вероятно, результат настоящей статьи можно трактовать так, что при низкой средней плотности сети эти эго-окрестности сильнее выделяются на общем фоне. Такой вывод находится в соответствии с историческим снижением фрагментации общества. В течение значительного периода истории коммуникации между отдельными поселениями были довольно слабыми, и каждое из них обладало локальной повесткой, локальными стереотипами, локальными нормами. Тем самым низкая плотность социальной сети способствовала тому, что общество представляло собой фрагментированную совокупность локальных эго-камер. Последующее увеличение количества социальных связей привело к формированию общенациональных повесток, стереотипов и норм.

Другой аспект результатов касается различий между экспериментами 1, 2. Отличие в условиях между ними касается лишь двух параметров: в первом из них  $a = 0,2$ ,  $c = 1$ , во втором —  $a = 1$ ,  $c = 0,2$ . В данной модели параметр  $a$  описывает релаксацию, т.е. скорость возвращения политической позиции индивида к его установке при отключении влияния соседей. Напомним, что позиция складывается из постоянной во времени установки, обусловленной социальным статусом и идеологическими воззрениями индивида, и динамической компоненты, которая формируется влиянием соседей по сети. Параметр  $c$  описывает, насколько сильно влияют соседи на мнение данного индивида. Таким образом, параметры  $a = 0,2$ ,  $c = 1$ , принятые в эксперименте 1, соответствуют ситуации, когда индивиды в большей степени учитывают мнение соседей по сети, чем свою социально обусловленную предрасположенность к поддержке той или иной партии, параметры из эксперимента 2 — наоборот. Соответственно, в первом случае сформировавшемуся большинству с течением времени удается привлечь на свою сторону оставшихся индивидов, а во втором случае меньшинству удается сохранить себя. В данной части результат экспериментов с моделью полностью соответствует интуиции.

Характерной особенностью результатов является то, что в системе, строго говоря, не существует стационарного решения. Причина этого состоит в стохастическом влиянии агентов друг на друга (другими словами, стохастичность исчезнет, если положить все  $p_{ij}$  равными единице). Например, если некоторый индивид связан с тремя членами левой партии и тремя членами правой партии, то в некоторый момент может случиться так, что на него влияют три левых и ни одного правого, в другой момент — наоборот. Соответственно, в той или другой момент он может поменять свою партийность. Таким образом, в данной модели в сети порождаются нерегулярные возмущения, которые могут как затухать, так и в некоторых случаях генерировать изменения большого масштаба. Так, на рис. 1 (справа) численности имеют довольно сильные колебания, что приводит к изменению лидирующей партии в интервале значений  $t$  от 35 до 40.

Отметим некоторые ограничения полученного результата, заложенные при построении модели.

Прежде всего, модель предполагает, что на обсуждении в социуме находится ровно один вопрос, т.е. не рассматриваются вопросы, связанные с многомерностью информационной повестки [Proncheva, 2020]. Кроме того, не учитывается в явном виде влияние средств массовой информации, которые не просто распространяют сообщения, но и формируют дискуссии среди читателей [Петров, Прончев, 2022]. Строго говоря, в рамках сетевого подхода СМИ могут отождествляться с некоторыми вершинами сети, как это принято в работах [Kozitsin, 2022a; Kozitsin, 2022b], однако это требует некоторых усложнений модели. Наконец, в информационном противоборстве существенную роль играет содержание сообщений. В этом отношении пока имеется больше средств анализа [Akhtyamova et al., 2018], чем опыта учета в математических моделях. Соответственно, в настоящей работе содержание сообщений также не рассматривается.

Наконец, заметим, что в настоящей работе рассматривались лишь безмасштабные сетевые структуры, построенные с помощью алгоритма Барабаши–Альберт. В последующих работах планируется рассмотреть также сети Уоттса–Строгаца и Эрдоша–Реньи.

## Список литературы (References)

- Жеглов С. А.* Поиск паттернов в динамике протестных кампаний: вычислительное моделирование и эмпирический анализ // Социология: методология, методы, математическое моделирование. — 2022. — № 54–55. — С. 129–187.  
*Zheglov S. A.* Poisk patternov v dinamike protestnykh kampanij: vychislitel'noe modelirovanie i empiricheskij analiz [Searching for patterns in the dynamics of protest campaigns: computational modeling and empirical analysis] // Sociology: methodology, methods, mathematical modeling. — 2022. — No. 54–55. — P. 129–187 (in Russian).
- Петров А. П., Прончев Г. Б.* Динамическая модель дискуссии пользователей новостных онлайн-новых массмедиа // Социология: методология, методы, математическое моделирование. — 2022. — № 54–55. — С. 104–128.  
*Petrov A. P., Pronchev G. B.* Dinamicheskaya model' diskussii pol'zovatelej novostnykh onlajnovykh massmedia [A dynamic model of discussion among online news media users] // Sociology: methodology, methods, mathematical modeling. — 2022. — No. 54–55. — P. 104–128 (in Russian).
- Рашиевский Н.* Две модели: подражательное поведение и распределение статуса // Математические методы в современной буржуазной социологии: сборник статей / под ред. Г. В. Осипова. — М.: Прогресс, 1966. — С. 175–197.  
*Rashevskii N.* Dve modeli: podrazhatel'noe povedenie i raspredelenie statusa [Two models: imitative behavior and status distribution] // Mathematical methods in modern bourgeois sociology: edited book / under the editorship of G. V. Osipov. — Moscow: Progress, 1966. — P. 175–197 (in Russian).
- Akhtyamova L., Alexandrov M., Cardiff J., Koshulko O.* Opinion mining on small and noisy samples of health-related texts // Advances in Intelligent Systems and Computing III (Proc. of CSIT-2018). — Springer, AISC, 2018. — Vol. 871. — P. 1–12.
- Boldyreva A., Sobolevskiy O., Alexandrov M., Danilova V.* Creating collections of descriptors of events and processes based on Internet queries // Aroc. of 14th Mexican Intern. Conf. on Artif. Intell. (MICAI-2016). — Springer Cham. LNAI, 2016. — Vol. 10061. — P. 303–314.
- Broido A. D., Clauset A.* Scale-free networks are rare // Nature communications. — 2019. — Vol. 10, No. 1. — P. 1017.
- Chkharishvili A. G., Gubanov D. A.* On the concept of an informational community in a social network // Journal of Physics: Conference Series. — 2021. — Vol. 1864, No. 1. — P. 012052.
- Chkharishvili A. G., Gubanov D. A., Novikov D. A.* Social networks: models of information influence, control and confrontation. — Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019.
- Cinelli M., De Francisci Morales G., Galeazzi A., Quattrociocchi W., Starnini M.* The echo chamber effect on social medi // Proceedings of the National Academy of Sciences. — 2021. — Vol. 118, No. 9.
- Guilbeault D., Centola D.* Topological measures for identifying and predicting the spread of complex contagions // Nature communications. — 2021. — Vol. 12, No. 1. — P. 4430.
- Kozitsin I. V.* A general framework to link theory and empirics in opinion formation models // Scientific reports. — 2022a. — Vol. 12. — P. 5543.
- Kozitsin I. V.* Formal models of opinion formation and their application to real data: evidence from online social networks // The Journal of Mathematical Sociology. — 2022b. — Vol. 46, No. 2. — P. 120–147.
- Mikhailov A. P., Pronchev G. B., Proncheva O. G.* Mathematical modeling of information warfare in technosocial environments // Trousov A., Maruev S. Techno-social systems for modern economical and governmental infrastructures. — IGI Global, 2019. — P. 174–210.
- Petrov A., Akhremenko A., Zheglov S.* Dual identity in repressive contexts: an agent-based model of protest dynamics // Social Science Computer Review. — 2023. — Vol. 41, No. 6. — P. 2249–2273.

- Proncheva O.* A model of propaganda battle with individuals' opinions on topics saliency // 2020 13th International Conference "Management of large-scale system development" (MLSD). — 2020. — P. 1–4.
- Rashevsky N.* Outline of a physico-mathematical theory of excitation and inhibition // *Protoplasma*. — 1933. — Vol. 20. — P. 42–56.
- Yoshikawa K., Awa T., Kusano R., Sat H., Ichino M., Yoshiura H.* A fake news dissemination model based on updating reliability and doubt among individuals // 2020 11th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST), Qingdao, China. — 2020. — P. 1–8.