

# НАСКОЛЬКО ВАЖНО ФОРМИРОВАНИЕ НОВЫХ СВЯЗЕЙ? АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПРОТЕСТНОЙ КАМПАНИИ<sup>1</sup>

**Петров А.П.,**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия*

*petrov.alexander.p@yandex.ru*

**Жеглов С.А., Ахременко А.С.**

*НИУ Высшая школа экономики, Москва, Россия*

*s\_zheglov@mail.ru, ahremenko@yandex.ru*

*Аннотация. Работа посвящена построению и предварительному анализу агентно-ориентированной модели динамики протестной кампании, в которой агенты способны создавать новые связи по ходу процесса. Проведены вычислительные эксперименты с моделью, направленные на выявление роли этих новых связей.*

*Ключевые слова: динамические сети, агентно-ориентированная модель, протестная кампания, мотивация.*

## **Введение**

Агентно-ориентированные модели на сети чаще всего предполагают неизменность сетевой структуры. На операциональном уровне, это реализуется в виде алгоритма, на первом этапе которого формируется сетевая структура, а на втором - на этой сети проводится расчет модели, описывающей взаимодействие между агентами, передачу информации между ним, изменение мнений и т.д. Члены социума представляются узлами сети, а связи между ними соответствуют наличию контакта, возможности влияния или знакомству. Таким образом, неизменность сети имеет смысл того, что на протяжении рассматриваемого процесса индивиды не образуют новых связей друг с другом. Моделирование с неизменной сетью может явно или неявно опираться на предположение о том, что сеть сформировалась в период времени, предшествующий моделируемому процессу.

Модели с неизменной сетью обладают тем достоинством, что сетевая структура строится для каждого прогона однократно, что не требует существенного объема вычислений. Более того, для построения сети используются стандартные инструменты языка программирования - такого, как, например, Python.

Однако содержание изучаемого процесса иногда все же предполагает появление новых связей, т.е. достройку сети по ходу процесса. Правила образования новых связей могут быть, вообще говоря, самыми разными, но они диктуются содержательной стороной процесса.

При этом, априори не всегда понятно, является ли необходимым учет этих "новых" связей, либо с приемлемой точностью можно ими пренебречь и проводить расчет модели на той сети, которая была построена в начале. Другими словами, если на протяжении процесса индивиды заводят новые связи друг с другом, то оказывают ли эти новые связи значимое влияние на динамику процесса?

В качестве примера можно привести модели динамики мнений и информационного влияния [1-4]. В постоянной сети индивиды влияют на своих знакомых, например, публикуя сообщения, демонстрируя свое мнение соседям по сети, либо передавая сообщения при попарных взаимодействиях, либо как-нибудь еще. В непостоянной сети индивиды могут также знакомиться друг с другом (или подписываться друг на друга в онлайн-медиа), создавая новые связи, а также разрывая отношения (прекращать подписку), устраняя изначально существующие связи. Влияет ли эта динамика сети, например, на стационарное распределение мнений?

Другой пример дается следующей содержательной ситуацией. Рассматривается протестная кампания, состоящая из последовательности событий - таких, как демонстрации или митинги, которые могут проходить еженедельно или ежедневно. Мотивация оппозиционно настроенного индивида к участию зависит, в частности, от его сетевого окружения. Одна из причин для этого состоит в том, что участие или неучастие друзей создает локальную норму поведения, например, когда неучастие в митинге может привести к разочарованию или даже определенной потере уважения среди знакомых. В соответствии с [5], когда индивид посещает митинг или демонстрацию, он становится подвержен трем следующим процессам. Во-первых, он может приобрести там новых знакомых из числа участников митинга, тем самым, расширив круг своих знакомств в протестном движении. Во-вторых, в разговорах с участниками, а также из речей ораторов он может почерпнуть новую информацию,

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-18-00274, <https://rscf.ru/project/20-18-00274/>, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

которая позволит ему лучше узнать движение и его цели. В-третьих, на митинге он, вероятно, постарается вести себя, как окружающие, тем самым, примеряя на себя социальную роль "опытного" члена движения. В результате трех этих процессов он станет более интегрирован и социализирован в движение, что сделает более вероятным его участие в следующем протестном мероприятии, на котором он снова будет подвержен тем же процессам. Таким образом, проходя через этот цикл интеграции и ресоциализации, как назвал его МакАдам, индивид будет все более и более плотно интегрироваться и социализироваться в движение.

Таким образом, появление новых знакомств среди членов движения является одной из существенных компонент цикла МакАдама. Это делает востребованным построение агентно-ориентированной модели протестной кампании, в которой сеть участников достраивается по ходу протекания кампании.

Настоящая работа посвящена относительно простому варианту такой модели.

Среди ограничений данной модели отметим, что за рамками остается содержательная сторона коммуникации агентов: какие сообщения они друг другу транслируют. Такой подход является стандартным для сетевых моделей, хотя существуют определенные наработки для подобного анализа (напр., [6, 7]).

## 1. Построение модели

Главной методологической основой настоящей математической модели является SIMCA (Social Identity Model of Collective Action, основанная на социальной идентичности модель коллективной акции), предложенная в работе [8] и получившая впоследствии развитие в ряде направлений (напр., [9, 10]).

Следуя [9], положим, что в день  $t$  индивид  $i$  принимает решение об участии в "сегодняшней" акции, если

$$\varphi_i + M_{i,action}(t) - M_{i,inaction}(t) > 0. \quad (1)$$

Здесь  $\varphi_i$  — это установка индивида, отражающая его долгосрочную и неизменную на протяжении протестной кампании предрасположенность к участию в протесте. Эта переменная в детерминированном случае предполагается равномерно распределенной среди индивидов:

$$n(\varphi) = \begin{cases} 1, & -1 \leq \varphi \leq 0, \\ 0, & otherwise. \end{cases} \quad (2)$$

В численных экспериментах установка  $\varphi_i$   $i$ -того индивида является реализацией случайной величины, имеющей данное распределение.

Для мотива к участию в день  $t+1$  положим

$$M_{i,action}(t+1) = \frac{\sqrt{a_i(t)b_i(t)+d_i(t)+M_{i,norm}(t)}}{3} \quad (3)$$

Здесь

- $a_i(t)$  - гнев данного индивида в день  $t$ ;  $0 \leq a_i(t) \leq 1$ ,
- $b_i(t)$  - вера данного индивида в успех;  $0 \leq b_i(t) \leq 1$ ,
- $d_i(t)$  - его протестная идентичность;  $0 \leq d_i(t) \leq 1$ .

$M_{i,norm}(t)$  - нормативный мотив для данного индивида ( $0 \leq M_{i,norm}(t) \leq 1$ ), сложившийся по итогам предыдущей акции и вычисляемый, как доля его друзей, которая принимала участие в этой предыдущей акции, с весом, равным его протестной идентичности:

$$M_{i,norm}(t+1) = \frac{d_i(t)T_i[Particip](t)}{T_i(t)} \quad (4)$$

Здесь

- $T_i(t)$  - количество друзей (т.е. сетевых связей) данного индивида в момент времени  $t$  (напомним, что с течением времени эта величина может возрастать);
- $T_i[particip](t)$  - количество участников акции в день  $t$  из числа этих друзей.

Таким образом, если некоторая новая связь сформирована на митинге в момент  $t-1$ , то она участвует в расчете переменных  $T_i[particip](t)$ ,  $T_i(t)$  в момент  $t$ , и тем самым участвует в расчете мотивации к участию в момент  $t+1$ .

Создание связей описывается в модели следующим образом. Предполагается, что любой из друзей рассматриваемого индивида может познакомить его с любым из своих друзей (которые еще не

являются друзьями рассматриваемого индивида), причем каждая из этих связей формируется с экзогенно задаваемой вероятностью  $p_{form}$  независимо от других связей. Таким образом, возможное создание связей реализуется в алгоритме следующим образом. Составляется множество друзей друзей данного индивида (не являющихся его друзьями), участвующих в данном митинге, и затем для каждого члена этого множества проводится статистический тест: с вероятностью  $p_{form}$  формируется его связь с данным индивидом. Возможность появления новой связи проводится независимо для каждого момента времени: например, если в момент  $t=1$  тестировалась, но не сформировалась связь между двумя индивидами, а в момент  $t=2$  на митинге снова присутствуют два этих индивида и хотя бы один их общий знакомый, то формирование связи в этот момент происходит с той же вероятностью  $p_{form}$ . Заметим, что описанный механизм содержит допущение о том, что вероятность формирования связи между двумя участниками не зависит от количества общих друзей, которые у них имеются.

Для гнева, входящего в выражение (3), положим

$$a_i(t) = \max(\gamma_1 a(t-1); \sqrt{d_i(t)s}). \quad (5)$$

Здесь

- $\gamma_1 a(t-1)$ - дисконтированный гнев прошлой акции;  $0 \leq \gamma_1 \leq 1$ ,
- $s$  - суровость репрессий, которая в данной модели предполагается постоянной;  $0 \leq s \leq 1$ .

Для веры в успех, входящей в выражение (3), положим

$$b(P(t)) = \frac{\exp[k_{belief}(P(t)-(1-d_i(t))P_0)]}{1+\exp[k_{belief}(P(t)-(1-d_i(t))P_0]}. \quad (6)$$

Здесь

- $P(t)$  - численность участников на акции дня  $t$ ,  $0 \leq P(t) \leq 1$ ,
- $k_{belief}$ - коэффициент, описывающий характер роста веры в успех как функции численности протестующих;  $k_{belief} > 0$ ,
- $P_0$  - численность участников, такая, что при  $P_{1/2} = (1 - d_i(t))P_0$ , вера в успех равна 0,5.

Очевидно,  $0 < b_1(P(t)) < 1$ .

Для идентичности, входящей в выражение (3), положим

$$d_i(t+1) = \max[d_i(t); (1 - k_{ident})d_i(t) + k_{ident}s] \quad (7)$$

Здесь

- $k_{ident}$  - параметр, описывающий скорость роста идентичности при достаточно суровых репрессиях;  $0 \leq k_{ident} \leq 1$ .

Начальное значение  $d_i(0)$  в различных вариантах модели либо реализуется как случайная величина, равномерно распределенная между 0 и 1, либо задается экзогенно и считается одинаковой для всех индивидов; в этом случае в каждый момент времени идентичность одинакова у всех индивидов.

Таким образом, мы описали все переменные, входящие в выражение (3) для мотива к участию.

Далее, мотив к неучастию имеет вид

$$M_{inaction}(t+1) = \begin{cases} \exp[-cP(t)/s], & 0 < s \leq 1, \\ 0, & s = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Здесь параметр  $c$  положителен. Данная функция является непрерывной при  $P(t) > 0$ ,  $z \rightarrow +0$ .

Итак, уравнения (1) - (9) совместно с описанным алгоритмом формирования новых связей образуют искомую модель. С ней проводились численные эксперименты.

## 2. Параметры расчета

В численных экспериментах в качестве начальной сети, актуальной для момента  $t = 1$ , использовалась сеть Уоттса-Строгатса [11].

Были приняты следующие константы.

Вероятность образования новой связи:  $p_{form} = 0,01$ .

Коэффициент, описывающий характер роста веры в успех как функции численности протестующих:  $k_{belief} = 2$ .

Параметр в выражении для веры в успех:  $P_0(t) = 0,3$ .

Параметр в мотиве к неучастию:  $C = 3$ .

Дисконтирующий коэффициент гнева:  $\gamma_1 = 0,9$ .

Параметр, описывающий скорость роста идентичности:  $k_{ident} = 0,5$ .

Варьировались следующие значения параметров.

Суровость репрессий  $s$ : от 0 до 1 с шагом в 0.1 (всего 11 значений).

Начальный уровень гнева  $a(0)$ : [0; 0,5; 1] (3 значения).

Начальный уровень идентичности  $d(0)$ : [0; 0,5; 1] (3 значения).

Мода количества друзей при построении начальной сети: [4; 8] (2 значения).

Является ли сеть динамической: [False, True] (2 значения).

Таким образом, всего рассматривалось 396 комбинаций параметров.

С каждой комбинацией параметров проводилось 100 прогонов, в каждом из которых генерировалось свое распределение установок между индивидами.

Расчет продолжался до момента, когда численность участников не изменялась в течение 10 акций, но при этом не более, чем до 150 моментов времени.

### 3. Результаты

Некоторые результаты представлена на Рисунке 1. Красные кривые соответствуют описанной выше модели, в которой в ходе кампании происходит формирование новых связей между участниками. Зеленые кривые получены в результате расчетов с теми же параметрами, но без формирования дополнительных связей. Сплошные линии с круглыми маркерами соответствуют менее плотной сети, чем штриховые линии с х-образными маркерами.

Для различных комбинаций начальных значений гнева и идентичности представлена средняя (по всем расчетам с данной комбинацией параметров) равновесная (т.е. имеющая место на последний момент расчета) численность участников выживших протестных кампаний.

Некоторые графики имеют U-образный вид с низкой левой и высокой правой частью. Такая форма графика соответствует следующей логике. При отсутствии репрессий либо при слабых репрессиях протестная кампания выживает наверняка (для краткости мы не приводим здесь данные относительно доли выживших кампаний), но имеет умеренную численность. Это связано с тем, что мотив к участию оказывается достаточным лишь для сравнительно небольшой части потенциальных участников протеста, а мотив к неучастию отсутствует ввиду отсутствия репрессий. С другой стороны, при высоких репрессиях как мотив к участию, так и мотив к неучастию являются потенциально высокими, но при значениях параметров, принятых в проведенных экспериментах (например, соответствующих средней строке графиков на Рис. 1) протест достигает высокой численности, так что мотив к неучастию остается низким: репрессии оказываются не в силах подавить протест. Однако умеренная суровость репрессий (от 0,2 до 0,6 для указанных графиков) не приводит к слишком высокому мотиву к участию и позволяет уменьшить численность протестующих до нуля.

Различие между случаем формирования новых связей и отсутствия новых связей проявляются наиболее явно в нижней строке графиков. При этом, различие проявляется сильнее для более плотной сети, чем для менее плотной.

### 4. Заключение

Новые связи формируются на митинге между теми индивидами, которые пришли на этот митинг, т.е. между теми, кто наиболее сильно установлен на участие. Соответственно, интуитивное предположение состоит в том, что появление новых связей должно способствовать расширению протеста. Эта тенденция, действительно, проявляется. Однако на Рис. 1 она является существенной лишь для нижней строки графиков. Возможно, это происходит в виду того, что численность протестующих в данном случае выше (по сравнению с графиками из средней строки), следовательно - индивид имеет большее количество "друзей друзей" и формирует большее количество связей. Чем больше новых связей - тем более различие по сравнению со случаем отсутствия новых связей.

Тот факт, что формирование новых связей играет более значимую роль для более плотной сети, чем для менее плотной, имеет следующее объяснение: в более плотной (до определенного предела) сети индивид имеет большее количество "друзей друзей", следовательно - формирует большее количество новых связей.

Общий вывод из экспериментов с данной моделью состоит в том, что формирование новых связей способствует протесту, однако не всегда играет существенную роль.

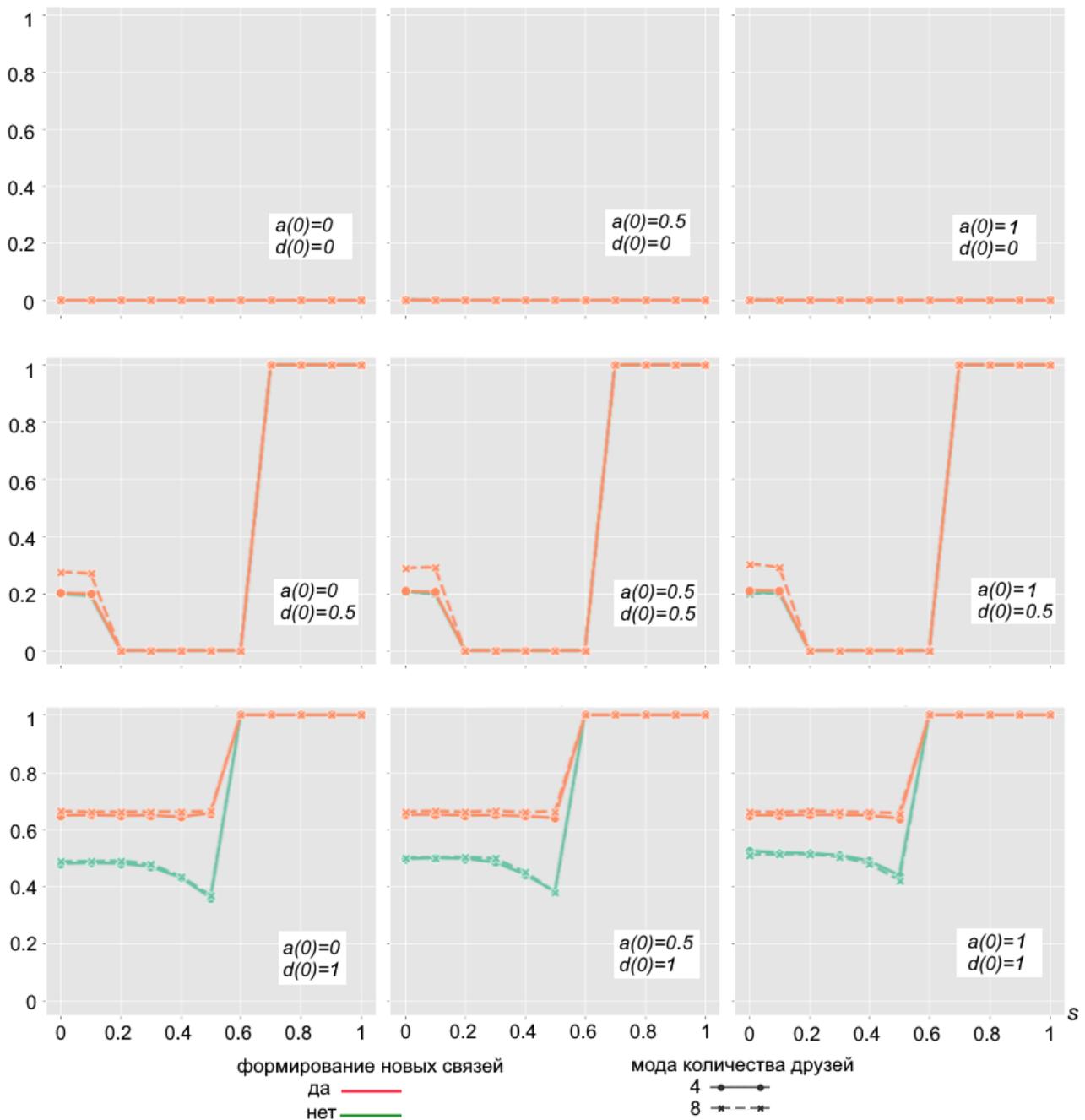


Рис. 1. Средняя равновесная численность участников выживших протестных кампаний

## Литература

1. Chkhartishvili A.G., Gubanov D.A., Novikov D.A. Social Networks: Models of information influence, control and confrontation. - Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019. - 158 p. DOI: 10.1007/978-3-030-05429-8.
2. Chkhartishvili 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.
3. Kozitsin I.V. Formal models of opinion formation and their application to real data: evidence from online social networks // The Journal of Mathematical Sociology. - 2022. - Vol. 46, N 2. - P. 120-147.
4. Kozitsin I.V. A general framework to link theory and empirics in opinion formation models // Scientific reports. - 2022. - Vol. 12. - P. 5543.
5. McAdam D. Recruitment to High-Risk Activism: The Case of Freedom Summer // American Journal of Sociology, 1986. - Vol. 92, N 1. - P. 64-90. doi: 10.1086/228463.
6. 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. 2019. - Vol. 871. P. 1-12.

7. *Boldyreva A., Sobolevskiy O., Alexandrov M., Danilova V.* Creating collections of descriptors of events and processes based on Internet queries // Proc. of 14-th Mexican Intern. Conf. on Artif. Intell. (MICAI-2016). - Springer Cham. LNAI. 2016. - Vol. 10061. P. 303-314.
8. *Van Zomeren M., Postmes T., Spears R.* Toward an Integrative Social Identity Model of Collective Action: A Quantitative Research Synthesis of Three Socio-Psychological Perspectives // Psychological Bulletin. - 2008. - Vol. 134, N. 4. - P. 504–535. DOI: 10.1037/0033-2909.134.4.504.
9. *Petrov, A., Akhremenko, A., & Zheglov, S.* Dual Identity in Repressive Contexts: An Agent-Based Model of Protest Dynamics // Social Science Computer Review. 2023. <https://doi.org/10.1177/08944393231159953>
10. *Chan, M.* Media use and the social identity model of collective action: Examining the roles of online alternative news and social media news // Journalism & Mass Communication Quarterly. - 2017- Vol. 94, N 3. - P. 663-681.
11. *Watts, D.J., Strogatz, S.H.* (1998) Collective dynamics of 'small-world' networks // Nature. - 1998. - Vol. 393. N 6684. - P. 440-442.