



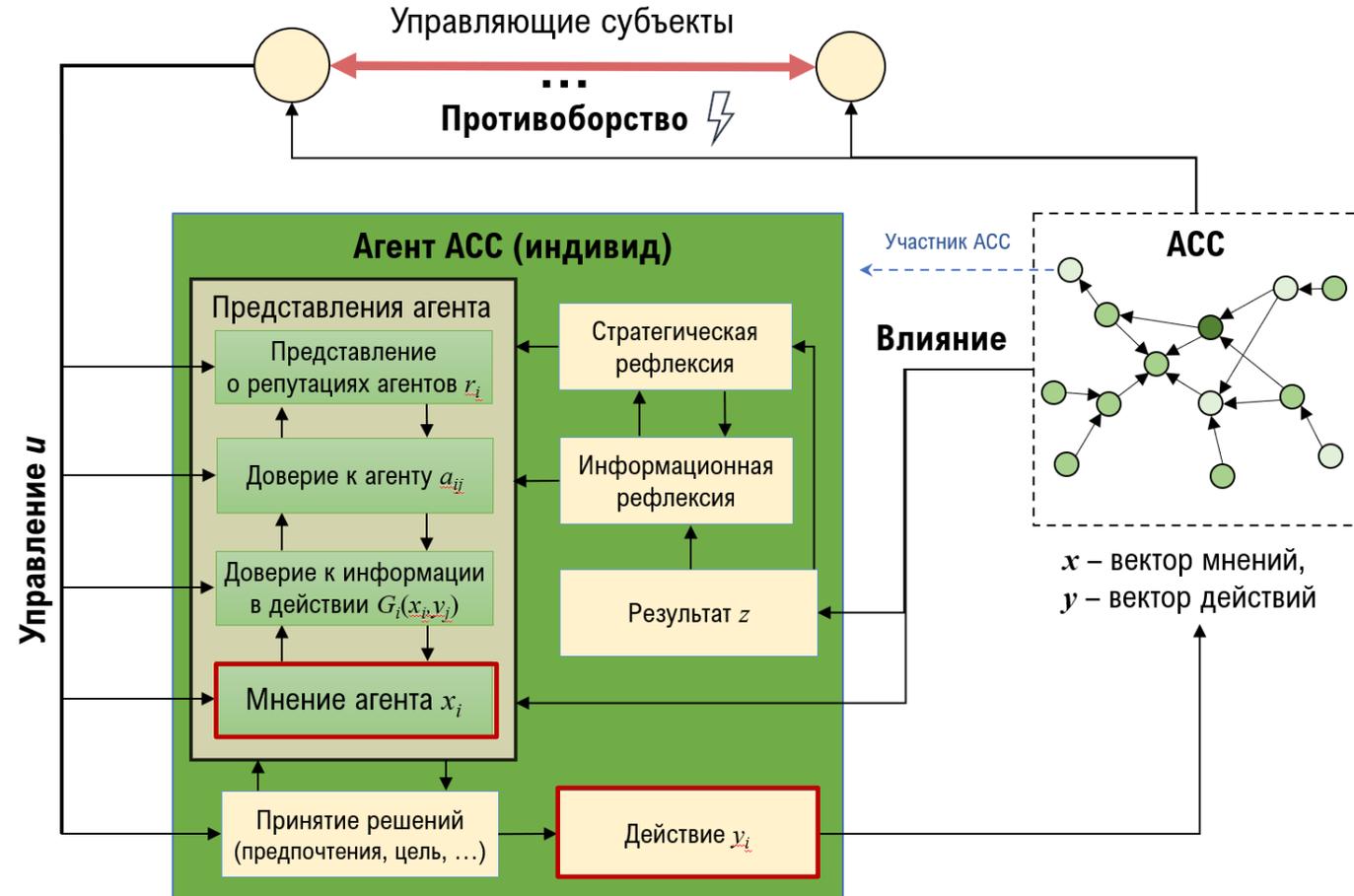
# **МОДЕЛИ СОВМЕСТНОЙ ДИНАМИКИ МНЕНИЙ И ДЕЙСТВИЙ В ОНЛАЙНОВЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ**

Губанов Дмитрий Алексеевич  
д.т.н., в.н.с. лаб. 11 ИПУ РАН

Москва 2023

# ПРОБЛЕМАТИКА

- Объект исследования – активная сетевая структура (АСС), состоит из множества активных *агентов* и определенного на нем множества *отношений*. Примеры АСС: социальные сети, научные сети и т.д.
- Мнения агентов (состояния) и действия формируются под воздействием *информационного влияния* авторитетного для агента окружения в сети.
- Виды управления: мотивационное, институциональное, управление структурой, управление составом, *информационное*



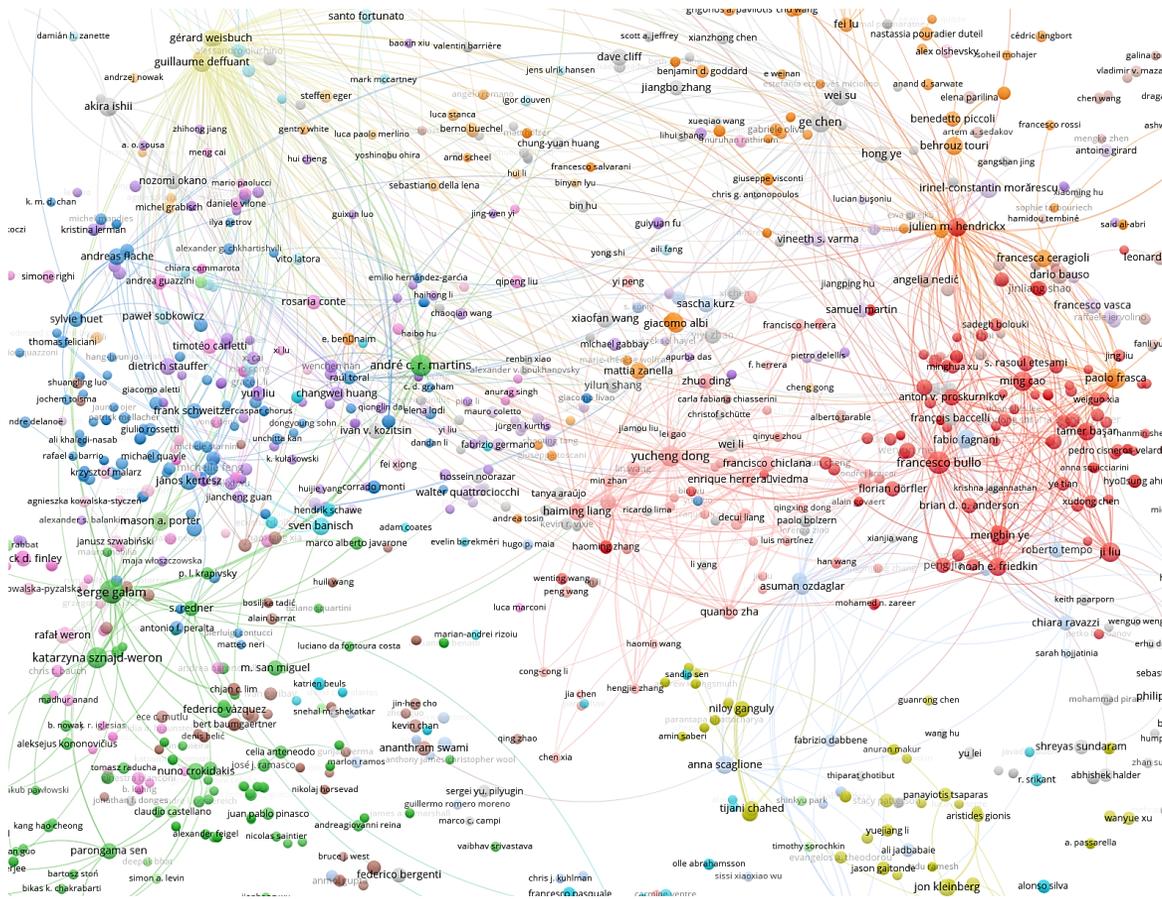
- VKontakte – месячная аудитория 100 млн. пользователей,
- Facebook\* – около 2 млрд пользователей

# НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИКИ МНЕНИЙ

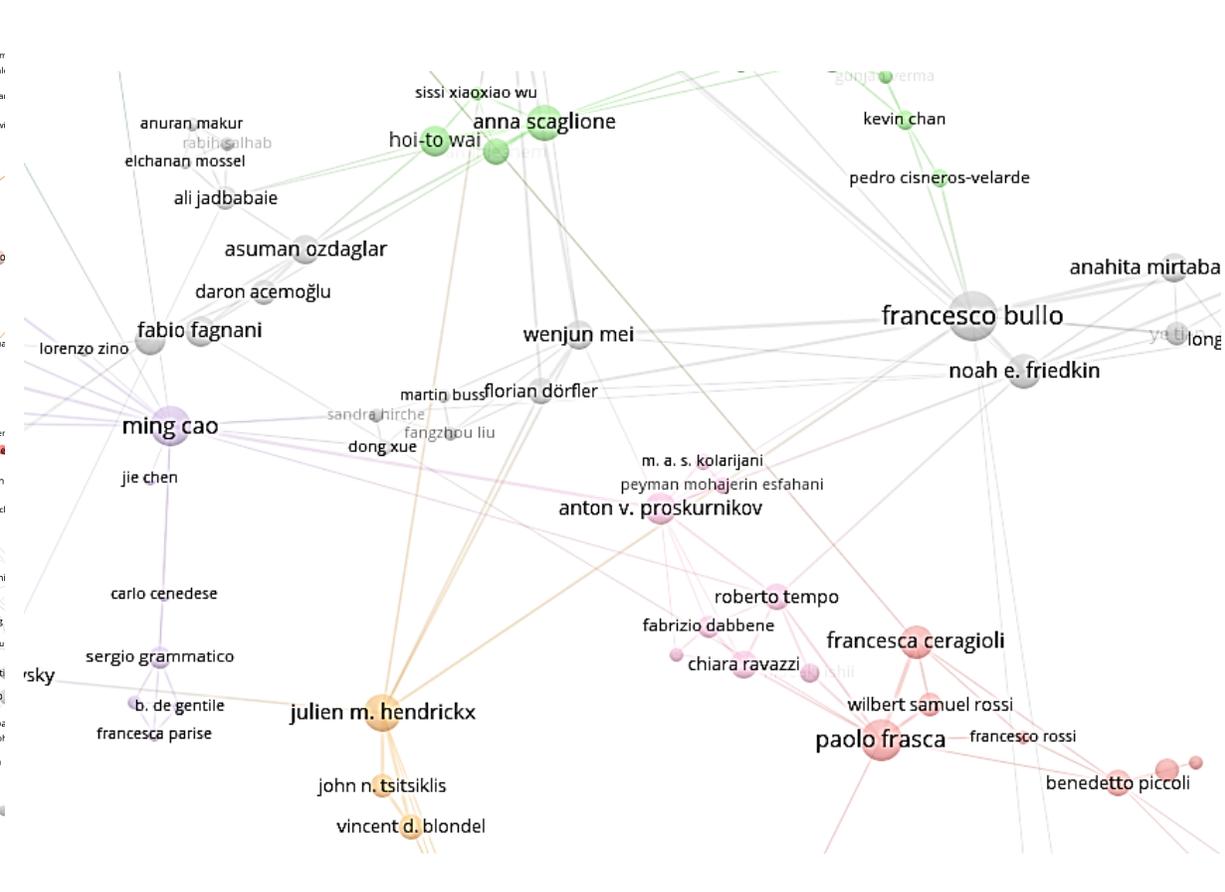


# СЕТИ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ ДИНАМИКИ МНЕНИЙ

## Сеть цитирования исследователей (фрагмент)



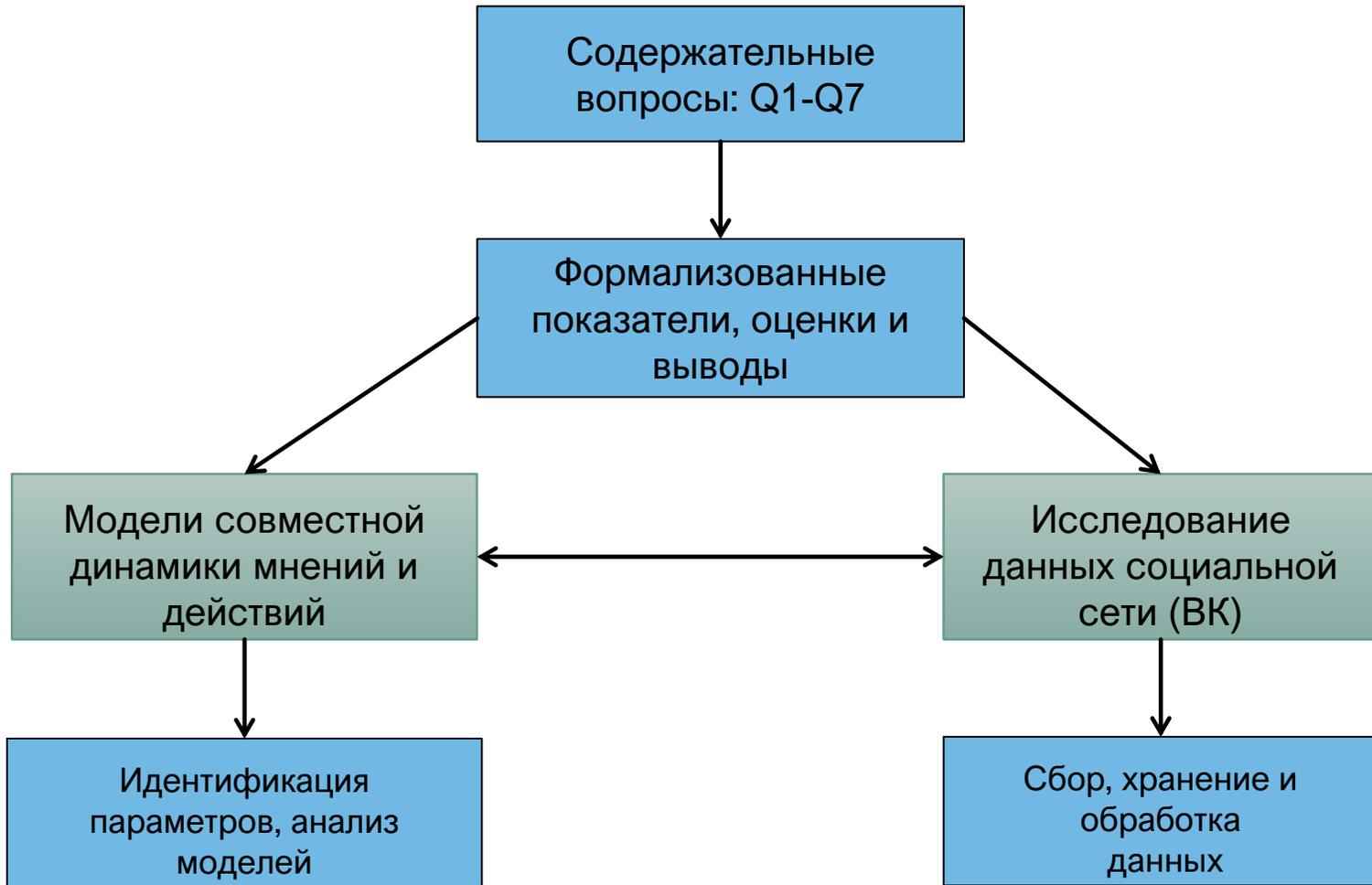
## Сеть соавторства исследователей (фрагмент)



# ВОПРОСЫ О СОВМЕСТНОЙ ДИНАМИКЕ МНЕНИЙ И ДЕЙСТВИЙ

- 1) Насколько согласованы между собой мнения агентов и их действия?
- 2) Существенно ли влияние действий на мнения (эффект когнитивного диссонанса) и наоборот?
- 3) Изменяют ли со временем агенты свои мнения и действия?
- 4) Кто эти (изменившие свои мнения и действия) агенты, отличаются ли они от других по своим социально-демографическим характеристикам?
- 5) Под влиянием каких факторов происходит изменение мнений и действий агентов:
  - его собственные предыдущие мнения или/и действия;
  - социальное влияние:
    - «общественное мнение» (усредненные доли тех или иных мнений и действий социальной сети в целом – «макромодель», в которой сеть условно рассматривается как один агент);
    - мнения или/и действия окружения агента (агенты, связанные с ним отношением «дружбы») - усредненные и/или индивидуальные («микромодель»);
  - те или иные ненаблюдаемые (*латентные*) характеристики агента?
- 6) Зависит ли изменение мнения/действий агента от его доверия к источнику получаемой информации? А от содержания этой информации?
- 7) Какие модели лучше описывают динамику мнений и действий агентов – линейные, пороговые и т.п.?

# ОБЩАЯ СХЕМА ИССЛЕДОВАНИЙ: МОДЕЛИ И МЕТОДЫ



- **Социальная и когнитивная психология** (*объяснение феноменов*): социальное влияние, когнитивный диссонанс, ограниченное доверие, склонность к подтверждению своего мнения, эхо-камеры...
- **Модели динамики мнений** (*модели механизмов влияния*): линейные модели (де Гроот), пороговые модели (Грановеттер), модели заражения,...
- **Методы машинного обучения** (*идентификация состояния сети*): большие языковые модели, графовые нейронные сети, ...
- **Статистические методы и модели** (*оценка параметров моделей*): регрессионные модели, обобщенные линейные модели, скрытые марковские модели, ...

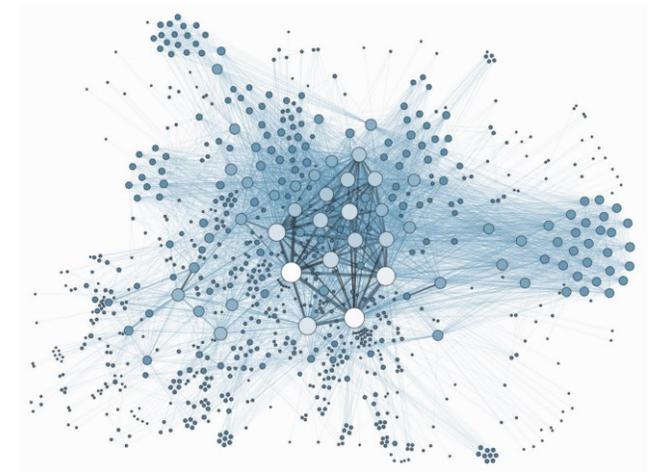
# МНЕНИЯ И ДЕЙСТВИЯ

В качестве базовой выбрана математическая модель совместной динамики мнений и действий агентов, предложенная в работе (Новиков Д.А, 2020)

В качестве «эмпирической базы» использовались посты, комментарии и лайки в онлайн-социальной сети «ВКонтакте», посвященные ношению медицинских масок, за период с марта 2020 по февраль 2021 года включительно

**Мнением** условно считалась оцениваемая автоматическим классификатором «тональность» комментария, написанного агентом

**Действием** условно считалась тональность комментария, которому агент поставил лайк



# ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

**Источники информации** – публичные страницы ВКонтакте (информационные агентства, газеты, журналы, агрегаторы и т.п.), публикующие новости по общественно-значимым темам: РИА Новости, РБК, Москва 24 и др.

## Примеры ключевых слов для сбора постов о COVID-19:

ковид, коронавирус, covid, coronavirus, карантин, удаленка, самоизоляция, пандемия, эпидемия

## Период сбора данных

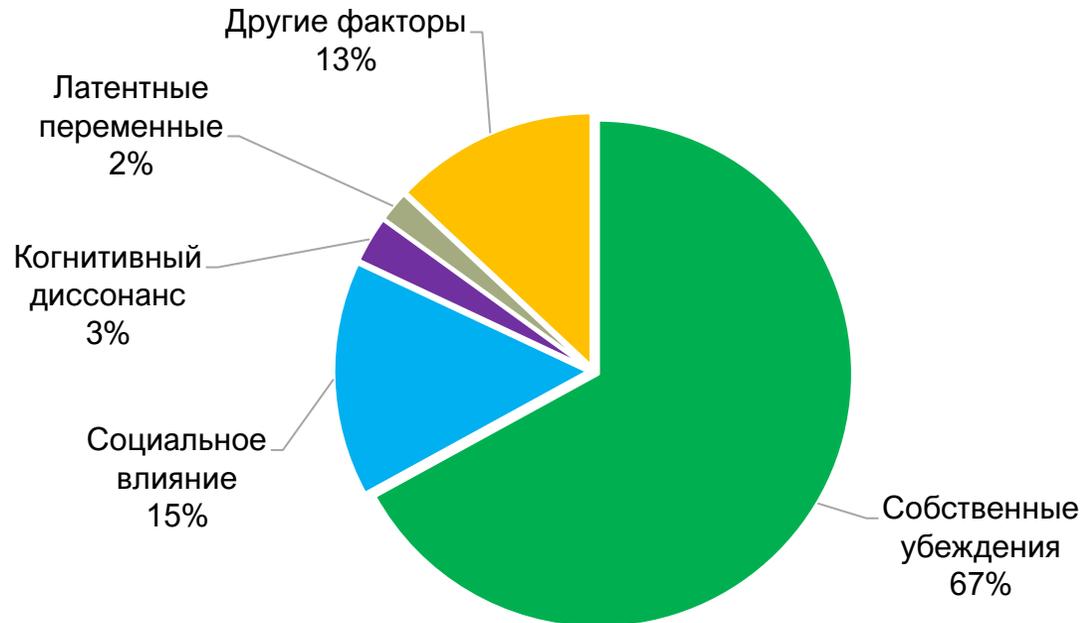
март 2020 г. – февраль 2021 г.

## Информационные объекты

- Посты источников – 50 тыс.
- Комментарии к постам – 2 млн.
- Лайки к постам и комментариям – 7 млн.

The image shows a screenshot of a VK post by Sergey Maslov. The post text reads: "Сergeй Маслов вот в этом СУТЬ!". Below the text is a photo of a person standing in a forest of tree stumps. The photo has a caption: "Когда будет срублено последнее дерево, когда будет отравлена последняя река, когда будет поимана последняя птица — только тогда вы поймете, что деньги нельзя есть." The post is dated "23 мар 2020" and has "4" likes. Below the post are two comments. The first comment is by Sergey Shvetsov: "Сergeй, Я всегда говорил , что матушка земля когда нибудь покажет у кого на этой планете самое мощное оружие....Коронавирус это предупреждение...Если люди не поймут...Ну тогда ....Дальше сам продолжи...". The second comment is by Vasily Kulik: "Сergeй, планете п [redacted] (а людей) она не бросается предупреждениями. это не живой организм с гордостью, которую можно задеть. это экосистема". The second comment is dated "23 мар 2020" and has "8" likes. Blue arrows point from the labels "Комментарии" and "Лайки" to the respective elements in the screenshot.

# КРАТКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ



Очень малая доля людей (около 1 %) изменяет свои мнения (убеждения, действия, ...)

На эту динамику в значительной мере влияют

- первоначальные убеждения (условно в среднем около 67 % влияния)
- социальное окружение (15 % влияния мнений и действий других агентов в сети)
- собственные действия (3 % влияния – вклад когнитивного диссонанса)
- латентные переменные (2 % влияния)
- и другие (внемодельные и/или случайные) факторы (13 % влияния)

При этом агенты больше прислушиваются к информации, сильнее отличающейся от их текущих представлений

# ИССЛЕДОВАНИЕ

## 1. Исходные данные и первичный анализ

- Описание исходных данных, идентификация мнений и действий агентов
- Исследование мнений и действий агентов
- Исследование взаимосвязи мнений и действий агентов

## 2. Макро- и микромоделли совместной динамики мнений и действий агентов

- Макромоделли
- Микромоделли (линейные и пороговые)

## 3. Модели со скрытыми переменными

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ МНЕНИЙ АГЕНТОВ

### Поиск комментариев о медицинских масках

- Ключевые слова «маска», «намордник» и их производные
- Около 60 тыс. комментариев

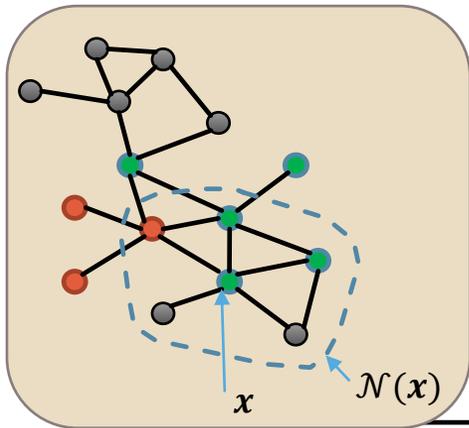
### Разметка релевантных комментариев (мнения о ношении медицинских масок)

- *«Ну мы видим статистику, так что продолжаем масочки носить и все такое»*  
(ЗА маски)
- *«Я хожу без маски. Я кови-диссидент»*  
(ПРОТИВ масок),
- *«Прикольно рассуждает о масках в России»*  
(нейтрально/непонятно).

### Разработка классификаторов мнений

# ИДЕНТИФИКАЦИЯ МНЕНИЙ АГЕНТОВ

**Внедрение знаний Про**  
Сеть сообщений  $G$

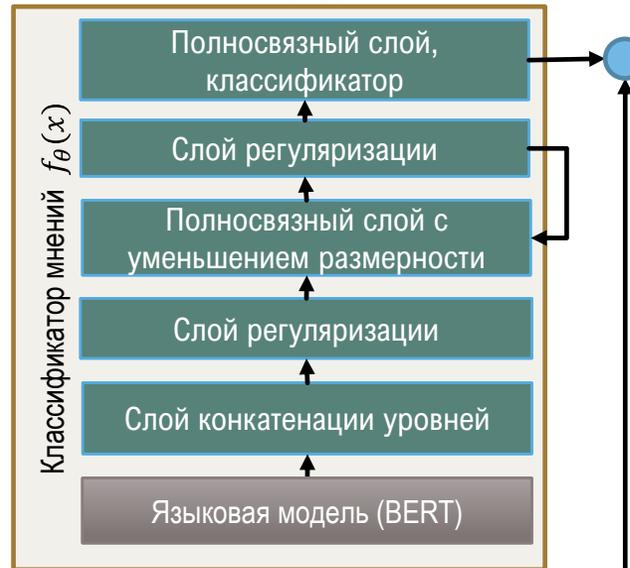


узлы – сообщения (C),  
связи вида (A - агент):  
I. C-автор-A-лайк-C  
II. C-автор-A-автор-C  
III. C-лайк-A-лайк-C

**Классификатор**

$$\mathcal{L}(\theta; \lambda) = \sum_{(x,y) \in \mathcal{B}} \ell(y, f_{\theta}(x)) + \lambda \sum_{(x,y) \in \mathcal{B}} \sum_{x' \in \mathcal{N}(x)} w_{xx'} \ell(y, f_{\theta}(x'))$$

Сетевая регуляризация

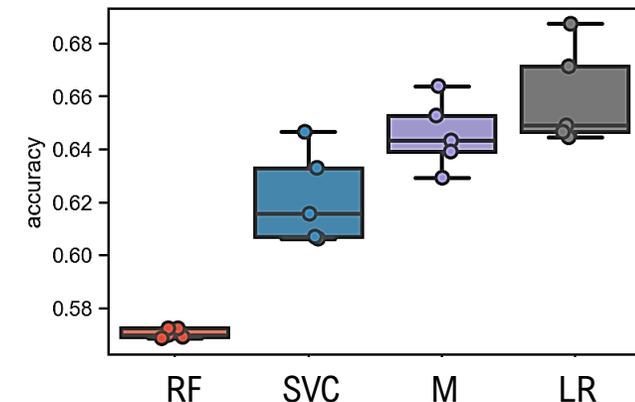


Примеры для обучения  
 $\mathcal{D} = \{(x^{(i)}, y^{(i)}) : i = 1 \dots N\}$

**Результаты (3 класса мнений)**

- Доля верных ответов 0,81
- $F_1 \geq 0,75$

**vs baselines (на синтакс. n-граммах):**



- Случайный лес (RF)
- Метод опорных векторов (SVC)
- Байесовский классификатор (M)
- Логистическая регрессия (LR)

**0,81 – верность (balanced accuracy) на тестовой выборке**

**0,75 – мера  $F_1$  для каждого класса (как минимум)**

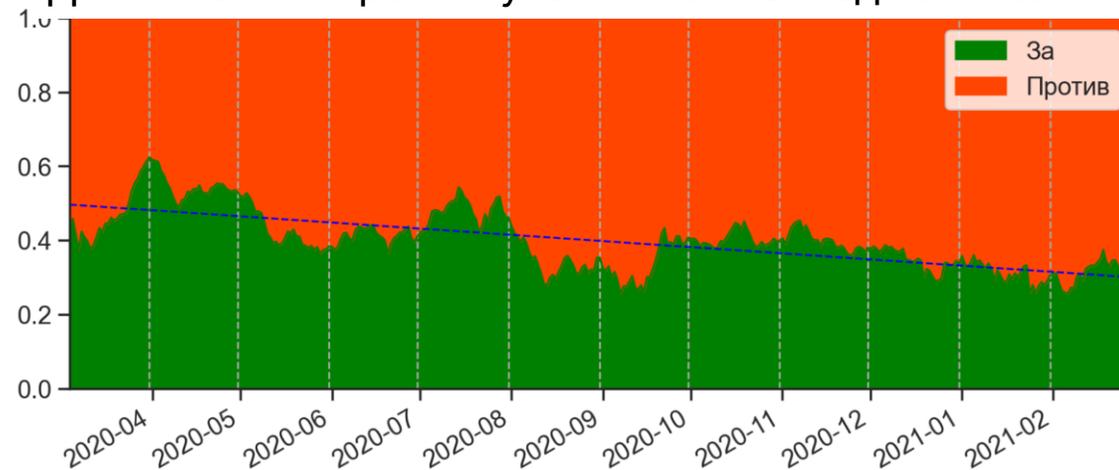
Верность базового классификатора – 0,6

## ДИНАМИКА «ОБЩЕСТВЕННОГО» МНЕНИЯ

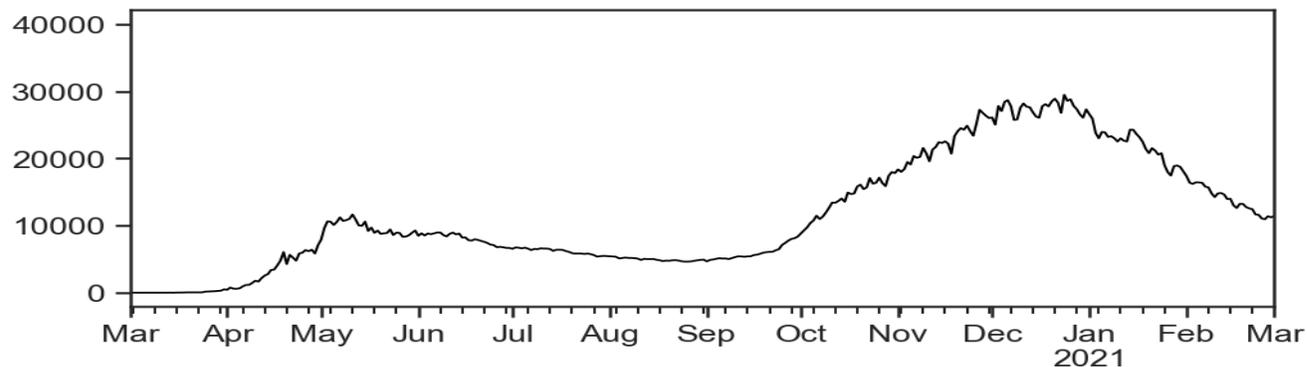
### Динамика по тематике ношения масок (ВКонтакте)



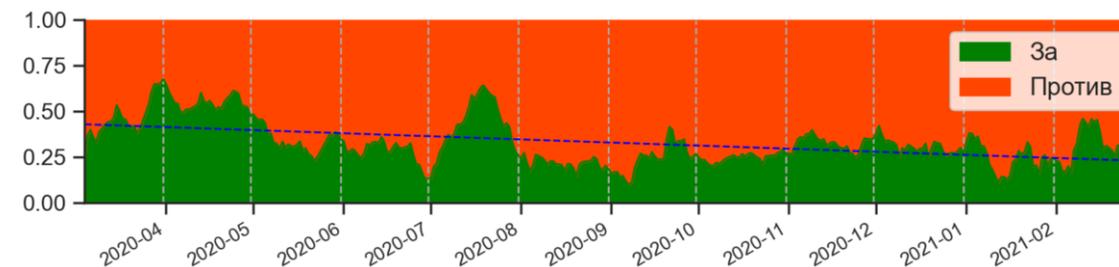
### Динамика доли мнений «за» и «против» ношения масок, Доля мнений «против» увеличилась за год на **21 %**



### Заболееваемость COVID-19 в РФ



### Динамика доли действий, доля действий «против» за год **+23 %**



Активность сети по «масочной тематике» связана с заболеваемостью COVID-19 опосредованно, «жизнь» сети, вероятно, определяется различными информационными событиями

Доля мнений «за» и «против» по отношению к объему релевантных мнений возросла на 30 %, доля действий «за» и «против» - на 36 %, т.е. происходит рост поляризации

# ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ АГЕНТОВ С ПОЗИЦИЕЙ О НОШЕНИИ МАСОК

**Всего 16 тыс. агентов с позицией** (мнения/действия «за» или «против»)

«За» – 56 %, «против» – 37 %, «нейтрально» – 7%

- *Пол*: «против» (61% - М) vs «за» (55% - М)
- *Возраст*: «против» (56 % – 41+) vs «за» (50 % - 41+)
- *Город*: «против» (Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, ...) vs «за» (Санкт-Петербург, Москва, Екатеринбург, ...)

**Активность агента** в среднем

- *мнений*: 1,1 «за» и 1,5 «против»
- *действий*: 0,9 «за» и 1,9 «против»

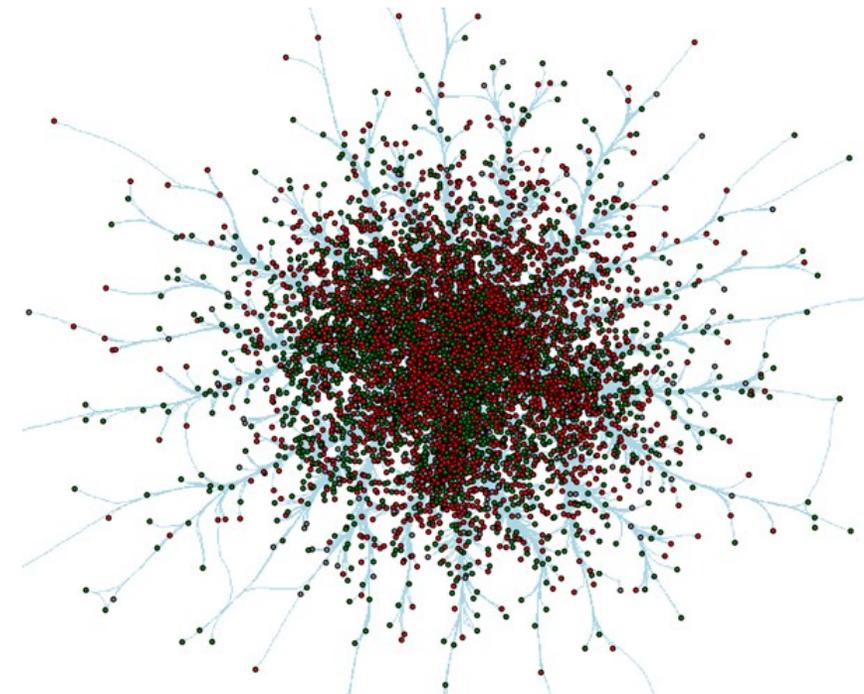
**Взаимодействие агентов:**

- сеть комментирования и постановки лайков (ассортативность 0,21)
- сеть комментирования (ассортативность -0,01)
- сеть постановки лайков (ассортативность 0,25)

Агенты «против» предпочитают взаимодействовать с такими же агентами (80% связей), агентам «за» это безразлично (50% связей)

**Сеть не разбивается на «эхо-камеры», есть возможность изменения мнений** (модулярность 0,12)

Сеть постановки лайков между агентами:



# ВЗАИМОСВЯЗЬ МНЕНИЙ И ДЕЙСТВИЙ АГЕНТОВ

## Q1/ Насколько согласованы между собой мнения агентов и их действия?

Агент  $i \in N$  высказывает мнение в моменты  $t_m \in T, m = \overline{1, M_i}$   
 (для каждого  $m$  существует такое  $a \in \delta_i$ , что  $r'_m(a) \in \{0,1\}, f_k(a) = 1, f_t(a) = t_m$ ).

$A_i^m = A_i(\tau) = \{a \in \delta_i \mid f_t(a) \in \tau, f_k(a) = 2, r'_m(a) \in \{0, 1\}\}$

- множество действий «за»/«против» агента  $i$  в период  $\tau = (t_m; t_{m+1}]$

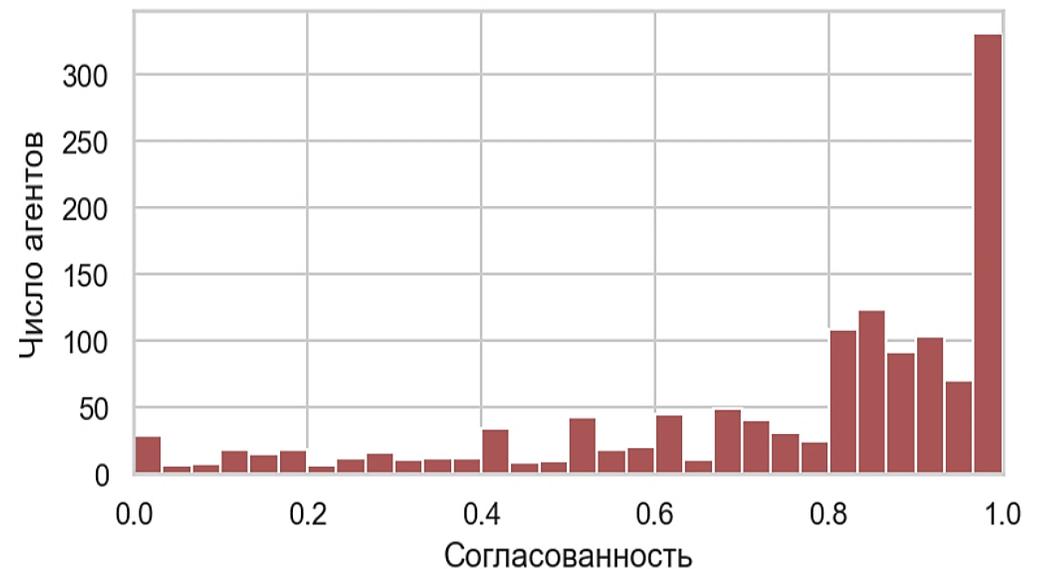
Согласованность действий агента  $i$ :

$$1 - \frac{1}{M_i} \sum_{m \in \overline{1, M_i}} \left| r_i^{(m)} - \frac{\sum_{a \in A_i^m} r''(a)}{|A_i^m|} \right| \in [0; 1],$$

где  $r_i^{(m)}$  – мнение в  $a, r''(a) \in \{0, 1\}, f_t(a) = t_m, f_a(a) = i$

**Действия агентов «согласуются» с их мнениями**  
**0,76 - согласованность действий агентов в среднем**

Распределение агентов по степени согласованности:



## ВЗАИМОСВЯЗЬ МНЕНИЙ И ДЕЙСТВИЙ АГЕНТОВ: ВЛИЯНИЕ ДЕЙСТВИЙ НА МНЕНИЕ

### Q2/ Существенно ли влияние действий на мнения (эффект когнитивного диссонанса)?

Влияние собственных действий на мнение  $i$ -го агента в интервале  $\tau$ :

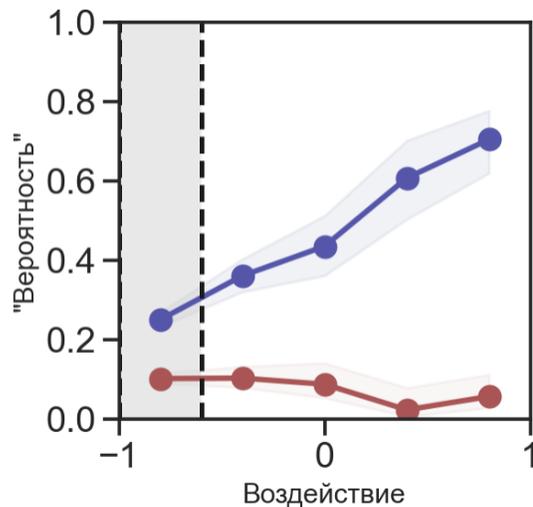
$$r_{D_i}(\tau) = \frac{\sum_{a \in B_i(\tau)} r(a)}{|B_i(\tau)|} \in [-1; 1], \text{ где } B_i(\tau) = \{a \in \delta_i \mid r'(a) \in \{0, 1\}, f_t(a) \in \tau, f_k(a) = 2\} - \text{множество действий } i\text{-го агента в интервале } \tau$$

**Классы ситуаций** значимого изменения мнения агентом  $t_m \rightarrow t_{m+1}$  (изменение *значимое*, если не меньше  $\epsilon = 0,1$ ):

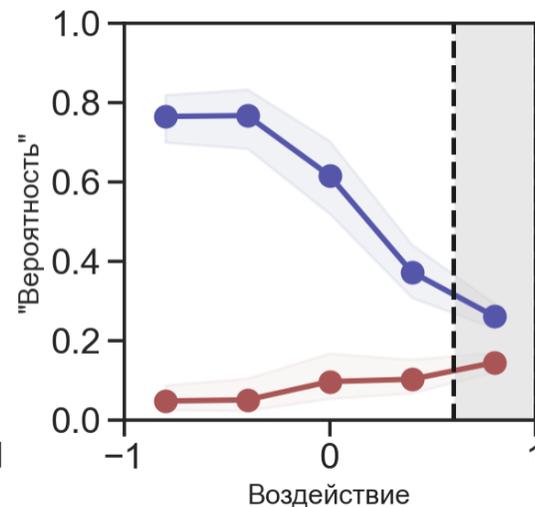
- (1) «*сильно против*»,  $r \in [-1; -0,6]$ ; (2) «*умеренно против*»,  $r \in (-0,6; -0,2]$ ; (3) «*слабо выраженное мнение*»,  $r \in (-0,2; -0,2]$ ;
- (4) «*умеренно за*»,  $r \in (0,2; 0,6]$ ; (5) «*сильно за*»,  $r \in (0,6; 1]$

#### Вероятность изменения мнений для классов

(а) «сильно против»

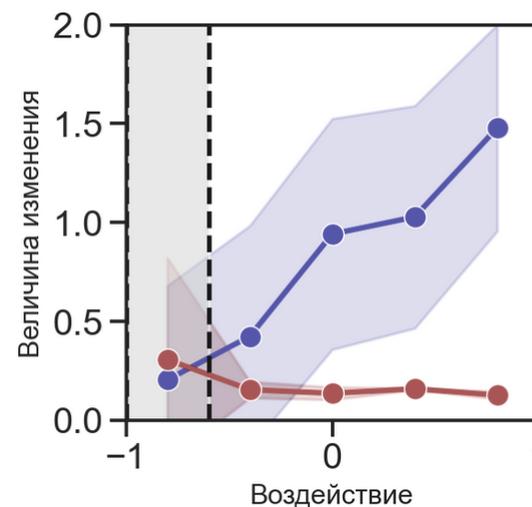


(б) «сильно за»

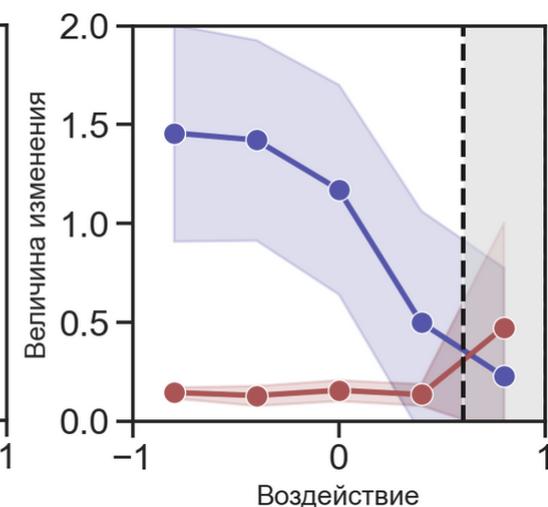


#### Величина значимого изменения мнений для классов

(а) «сильно против»



(б) «сильно за»



**Мнения агентов чаще меняются в сторону действий**

**Чем больше разница между «начальным» мнением и действиями,**

**тем больше вероятность изменения мнения и тем больше величина изменения мнения в сторону действий**

## АГЕНТЫ, ИЗМЕНИВШИЕ СВОЕ МНЕНИЕ

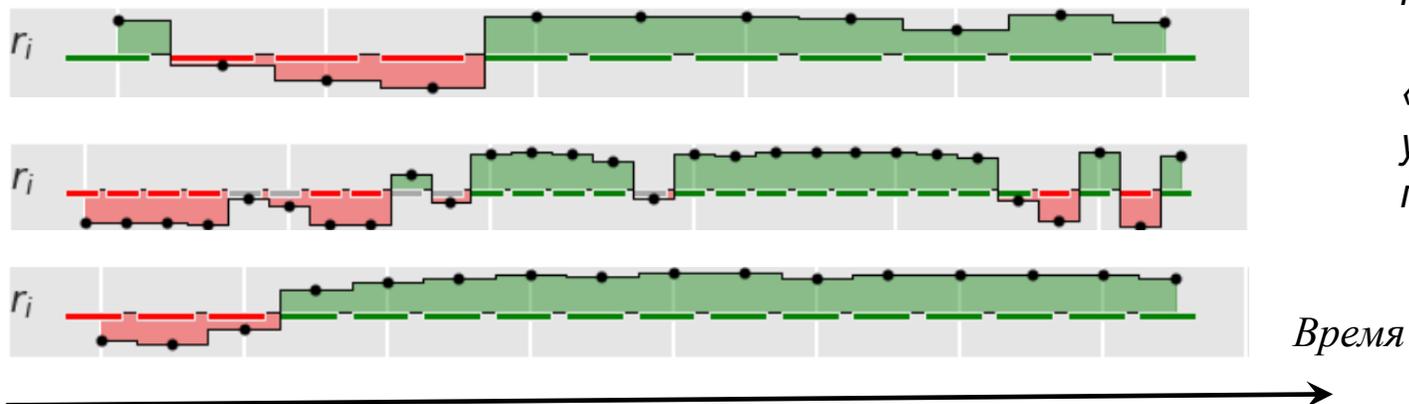
### Q3/ Изменяют ли со временем агенты свои мнения и действия?

Критерии отбора агентов

- Как минимум, одно мнение «за» и одно мнение «против» ношения медицинских масок
- Высказано мнение от 10 до 100 раз
- Открытый профиль в социальной сети и не менее пяти друзей

**Всего 1 % от количества агентов сети, имеющих мнение «за» или «против» (162 агента)**

Примеры динамики мнений значимых агентов:



*«Руки надо мыть всегда. А маски ерунда. Тогда надо носить противогаз и раз в сутки менять фильтр»*



*«Вот и носите маски. Это реальная возможность уберечься от заразы и других не заразить. И прививайтесь»*

## СОЦИАЛЬНО-ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗНАЧИМЫХ АГЕНТОВ

**Q4/ Кто эти (изменившие свои мнения и действия) агенты, отличаются ли они от других по своим социально-демографическим характеристикам?**

*Значимые агенты vs Агенты с позицией (агенты, имеющие мнение за или против)*

- Возраст: не указан у 61 %, в среднем равен 48 годам (42 года)  
Значимые агенты являются более возрастными
- Местоположение (город): не указан – 25 % агентов (34 %),  
23 % – г. Санкт-Петербург (12 %),  
17 % – г. Москва (13 %), 10 % – г. Екатеринбург (6 %).  
Значимые агенты больше предпочитают указывать город,  
для них выше доля агентов из Санкт-Петербурга и Екатеринбурга
- Пол: мужской пол – 57,4 % (vs 59,6 %)  
Гипотеза о равенстве распределений не подтвердилась

## МАКРОМОДЕЛИ СОВМЕСТНОЙ ДИНАМИКИ МНЕНИЙ И ДЕЙСТВИЙ

### Q5/ Под влиянием каких факторов происходит изменение мнений и действий агентов (макромоделли)

$\tau_1, \tau_2, \dots$  - равные последовательные интервалы (неделя)

$\Delta(\tau_m) = \Delta^m = \{a \in \Delta \mid f_t(a) \in \tau_m\}$  - множество актов в интервале  $\tau_m$

Мнения и действия сети ( $m \in \mathbb{Z}_{>0}$  - текущий шаг времени):

- $r_+^m = \frac{|\{a \in \Delta^m \mid f_k(a) = 1, r'(a) = 1\}|}{|\{a \in \Delta^m \mid f_k(a) = 1\}|}$  - доля мнений «за»,
- $r_-^m = \frac{|\{a \in \Delta^m \mid f_k(a) = 1, r'(a) = 0\}|}{|\{a \in \Delta^m \mid f_k(a) = 1\}|}$  - доля мнений «против»,
- $y_+^m = \frac{|\{a \in \Delta^m \mid f_k(a) = 2, r'(a) = 1\}|}{|\{a \in \Delta^m \mid f_k(a) = 2\}|}$  - доля действий «за»,
- $y_-^m = \frac{|\{a \in \Delta^m \mid f_k(a) = 2, r'(a) = 0\}|}{|\{a \in \Delta^m \mid f_k(a) = 2\}|}$  - доля действий «против»,

Линейные модели динамики мнений и действий вида:

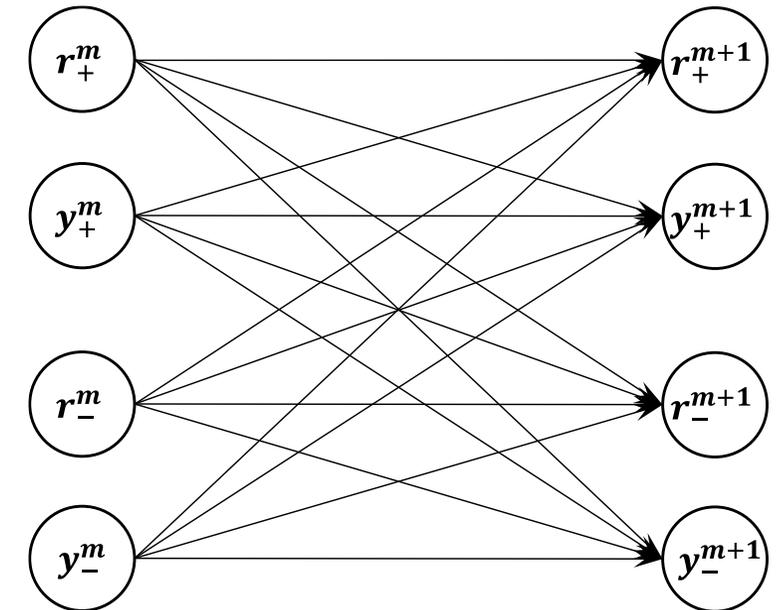
$$r_+^m = (1 - \beta_{+1} - \beta_{+2} - \beta_{+3}) r_+^{m-1} + \beta_{+1} y_+^{m-1} + \beta_{+2} r_-^{m-1} + \beta_{+3} y_-^{m-1},$$

коэффициенты  $\beta_{+1}, \beta_{+2}, \beta_{+3} \geq 0$ ,  $\beta_{+1} + \beta_{+2} + \beta_{+3} \leq 1$ .

Ошибка модели  $100(1 - R_0^2)$ , где  $R_0^2 = 1 - \frac{\sum_i (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_i x_i^2}$ ,

$x_i$  - фактическое значение объясняемой переменной,  $\hat{x}_i$  - прогнозируемое.

Зависимости между переменными:

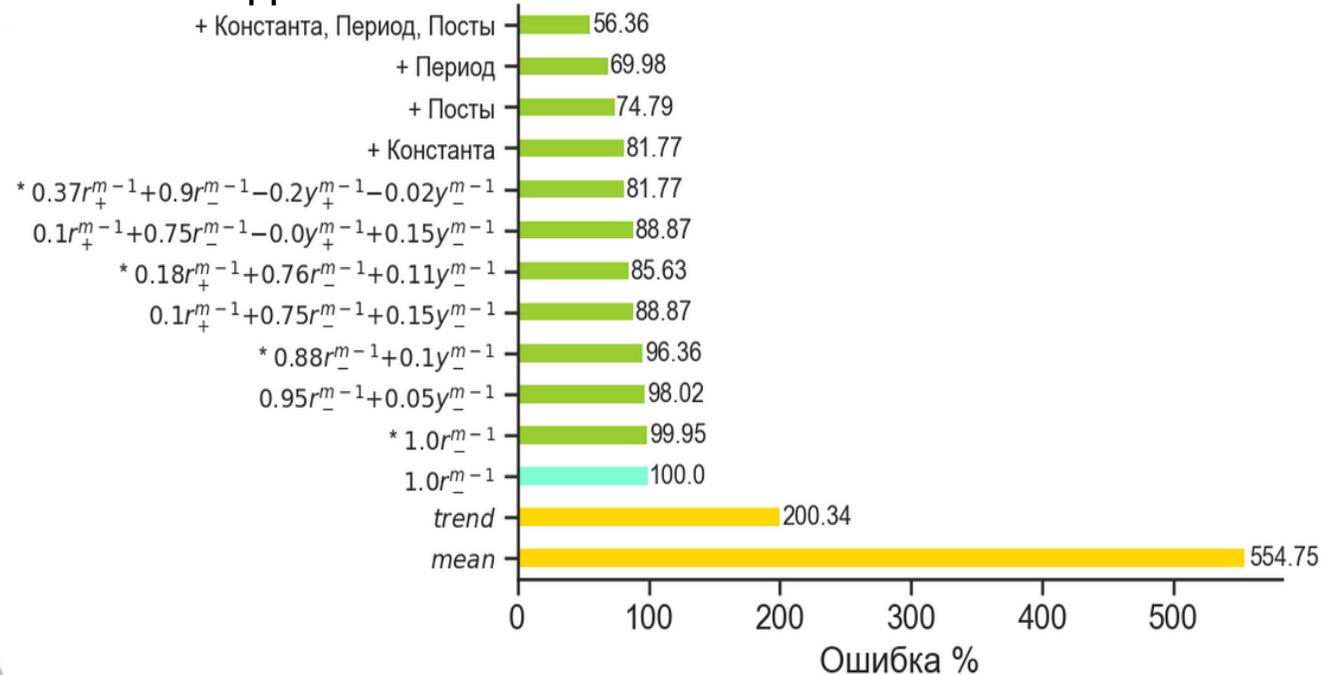
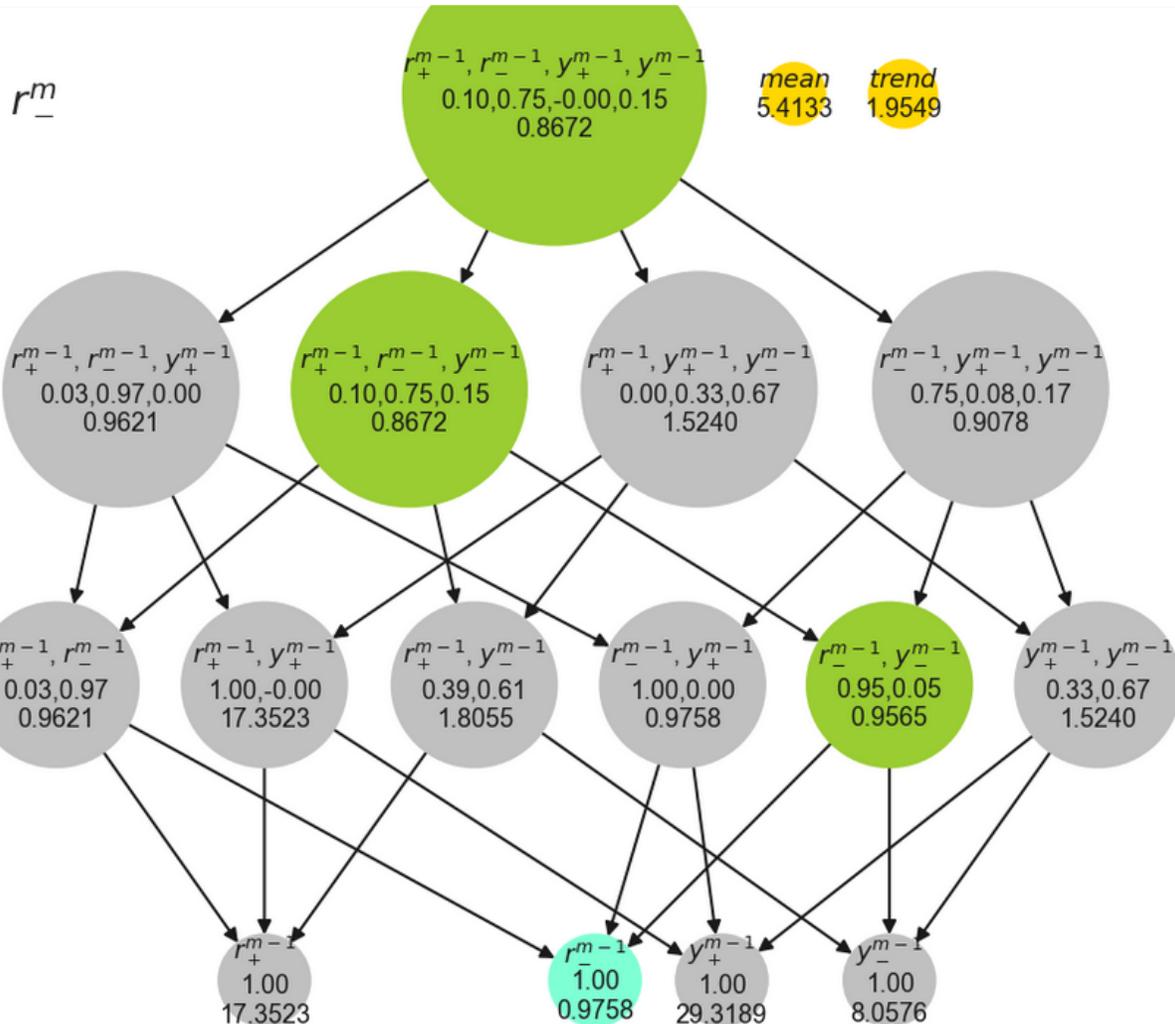


# МАКРОМОДЕЛИ СОВМЕСТНОЙ ДИНАМИКИ МНЕНИЙ И ДЕЙСТВИЙ

## Макромоделли динамики доли мнений «против» в социальной сети ( $r_-^m$ )

Граф качества моделей  $r_-$ :

Качество моделей  $r_-$ :



«\*» - стохастические ограничения на коэффициенты модели не накладываются,  
 «+» - к наиболее сложной модели добавляются дополнительные переменные

- Аналогичные модели построены для доли мнений «за»  $r_+^m$ , доли действий «против»  $y_-^m$  и доли действий «за»  $y_+^m$
- Результаты идентификации позволяют сделать вывод о наличии связи между действиями и мнениями в сети

## ЛИНЕЙНЫЕ МИКРОМОДЕЛИ СОВМЕСТНОЙ ДИНАМИКИ МНЕНИЙ И ДЕЙСТВИЙ

Q5/ Под влиянием каких факторов происходит изменение мнений и действий агентов (микромоделли)

В линейных микромоделлях агент «усредняет» свое мнение с мнениями тех агентов, с которыми взаимодействует и которым доверяет (согласовывает с ними свое мнение)

Рассматриваемые виды линейных микромоделей

- I. Микромоделли с макропеременными**  
(воздействие сети)
- II. Унифицированные микромоделли**  
(воздействие как сети, так и друзей)
- III. Персонализированные микромоделли**  
(воздействие как сети, так и друзей, функции доверия агентов могут различаться)

## МИКРОМОДЕЛИ СОВМЕСТНОЙ ДИНАМИКИ МНЕНИЙ И ДЕЙСТВИЙ

Агент  $i \in N$  в течение интервала  $\tau$  совершает акты «за» и «против»

- $\delta_i^\pm(\tau) = \{a \in \delta_i \mid f_t(a) \in \tau, r'(a) \in \{0,1\}\}$  – множество актов
- $\delta_{i,1}^\pm(\tau) = \{a \in \delta_i^\pm(\tau) \mid f_k(a) = 1\}$  – множество комментариев
- $\delta_{i,2}^\pm(\tau) = \{a \in \delta_i^\pm(\tau) \mid f_k(a) = 2\}$  – множество лайков

### Факторы действующие на агента $i$

#### Воздействие всей сети

- $\bar{r}_{-i}(\tau) = \frac{\sum_{a \in \Delta(\tau) \mid f_k(a)=1, r'(a) \in \{0,1\}} r(a)}{|\{a \in \Delta(\tau) \mid f_k(a)=1, r'(a) \in \{0,1\}\}|} \in [-1; 1], \bar{y}_{-i}(\tau) = \frac{\sum_{a \in \Delta(\tau) \mid f_k(a)=2, r'(a) \in \{0,1\}} r(a)}{|\{a \in \Delta(\tau) \mid f_k(a)=2, r'(a) \in \{0,1\}\}|} \in [-1; 1].$

#### Воздействие на агента его собственных действий и мнений:

- $\bar{r}_i(\tau) = \frac{\sum_{a \in \delta_{i,1}^\pm(\tau)} r(a)}{|\delta_{i,1}^\pm(\tau)|}, \bar{y}_i(\tau) = \frac{\sum_{a \in \delta_{i,2}^\pm(\tau)} r(a)}{|\delta_{i,2}^\pm(\tau)|}.$

#### Воздействие друзей на мнение /действие агента $h \in [-1; 1]$ :

- $\bar{r}_{N_i}(\tau) = \sum_{j \in N_i, \delta_{j,1}^\pm(\tau) \neq \emptyset} e_{ij} \frac{\sum_{a \in \delta_{j,1}^\pm(\tau)} E_i(h, r(a)) r(a)}{|\delta_{j,1}^\pm(\tau)|}, \bar{y}_{N_i}(\tau) = \sum_{j \in N_i, \delta_{j,2}^\pm(\tau) \neq \emptyset} e_{ij} \frac{\sum_{a \in \delta_{j,2}^\pm(\tau)} E_i(h, r(a)) r(a)}{|\delta_{j,2}^\pm(\tau)|}.$

где  $e_{ij} \in [0; 1]$  – доверие агента к другу  $j$ ,  $\sum_{j \in N_i} e_{ij} = 1$ ,  $E_i$  – функция доверия агента к информации (значения  $[0; 1]$ ).

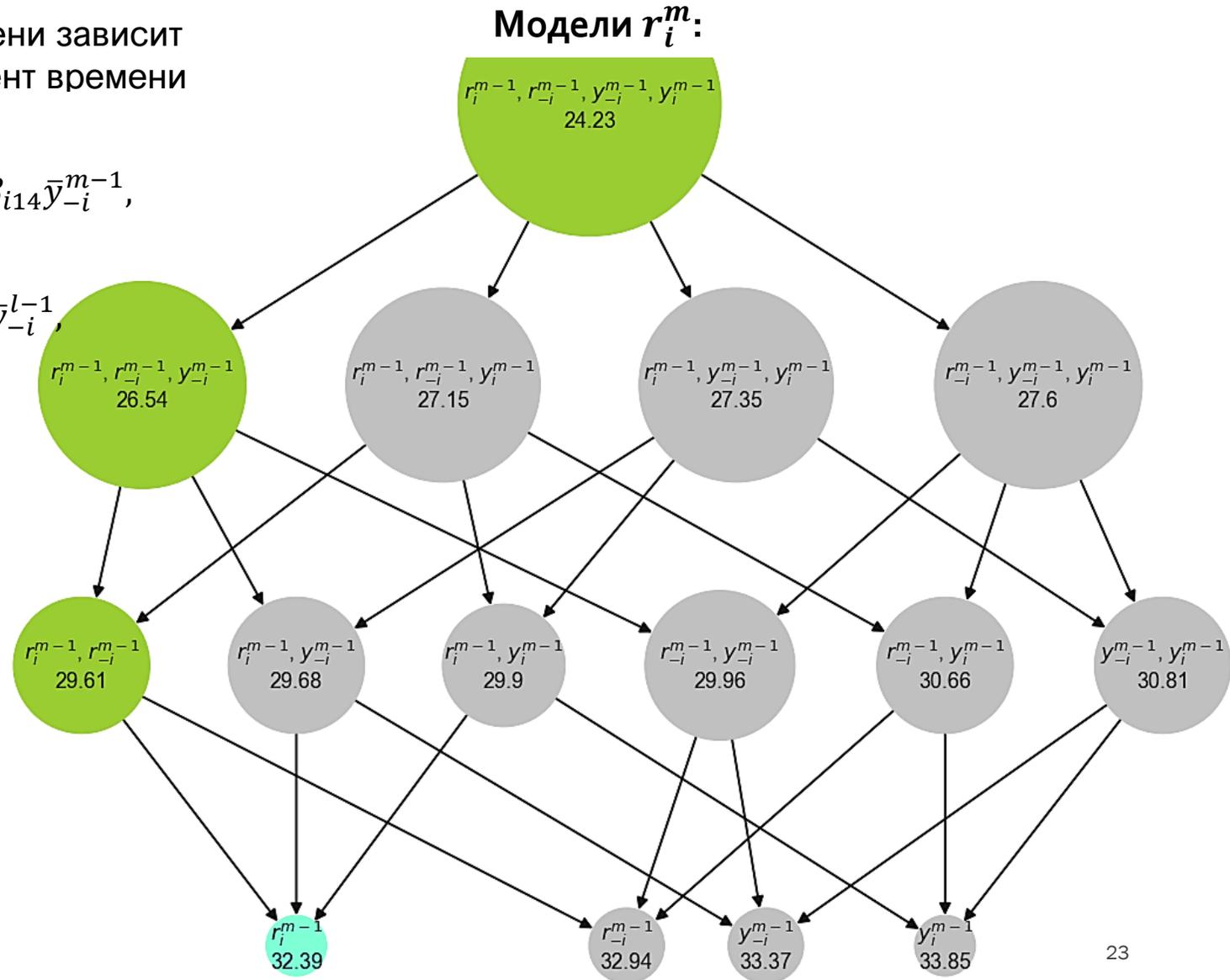
### Микромоделли динамики мнений и действий вида:

$$r_i^m = (1 - \beta_{i1} - \beta_{i2} - \beta_{i3}) r_i^{m-1} + \beta_{i1} \bar{r}_{-i}^{m-1} + \beta_{i2} \bar{y}_i^{m-1} + \beta_{i3} \bar{y}_{-i}^{m-1}, \text{ где } m = 1, 2, \dots, \beta_{i1}, \beta_{i2}, \beta_{i3} \geq 0, \beta_{i1} + \beta_{i2} + \beta_{i3} \leq 1$$

### (I) ЛИНЕЙНЫЕ МИКРОМОДЕЛИ С МАКРОПЕРЕМЕННЫМИ

Мнение/действие агента в текущий момент времени зависит от мнения и действий агента в предыдущий момент времени и воздействия всей сети

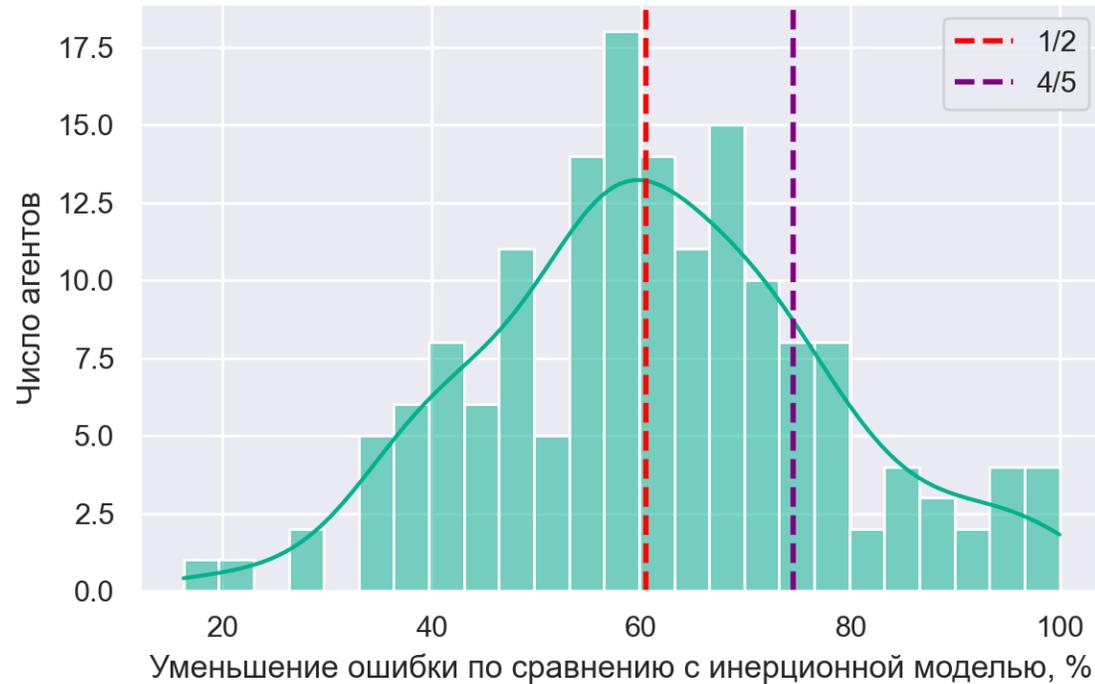
- $$r_i^m = \beta_{i10} + \beta_{i11}r_i^{m-1} + \beta_{i12}\bar{r}_{-i}^{m-1} + \beta_{i13}\bar{y}_i^{m-1} + \beta_{i14}\bar{y}_{-i}^{m-1},$$
 где  $m = 1, 2, \dots, \beta_{i10}, \beta_{i11}, \beta_{i12}, \beta_{i13}, \beta_{i14} \in \mathbb{R}$ .
- $$y_i^l = \beta_{i20} + \beta_{i21}\bar{r}_i^{l-1} + \beta_{i22}\bar{r}_{-i}^{l-1} + \beta_{i23}y_i^{l-1} + \beta_{i24}\bar{y}_{-i}^{l-1},$$
 где  $l = 1, 2, \dots, \beta_{i20}, \beta_{i21}, \beta_{i22}, \beta_{i23}, \beta_{i24} \in \mathbb{R}$ .



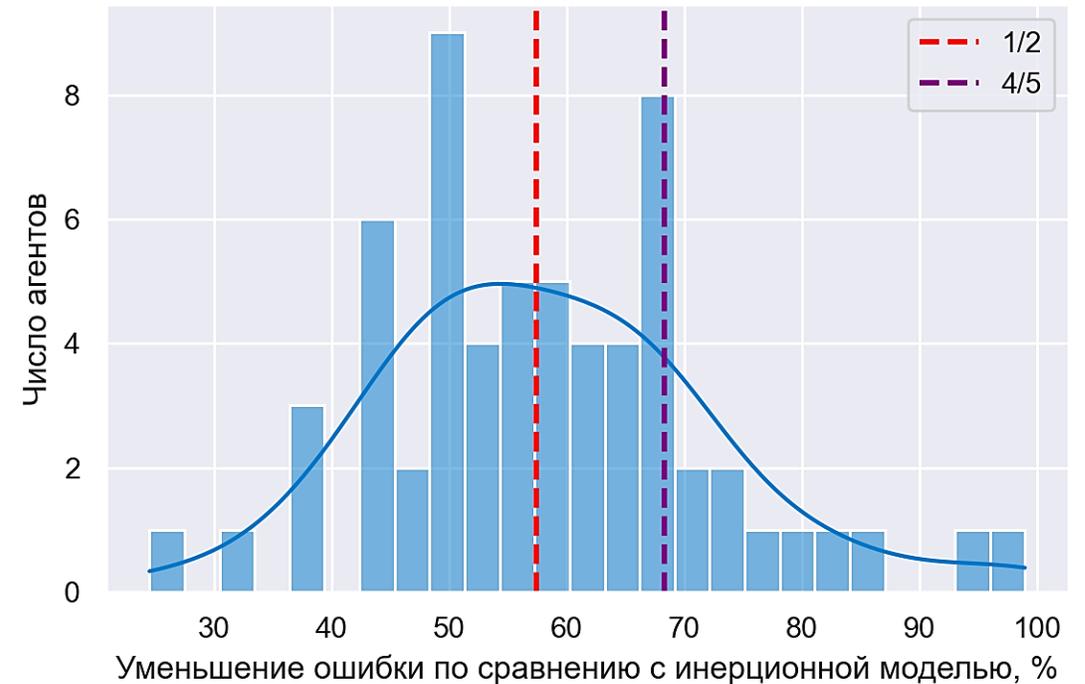
### (I) ЛИНЕЙНЫЕ МИКРОМОДЕЛИ С МАКРОПЕРЕМЕННЫМИ

Сравнение качества моделей динамики с *инерционной моделью* по величине уменьшения ошибки

#### Модели динамики мнений:



#### Модели динамики действий:



Учет воздействий сети и влияния агента на самого себя существенно улучшает качество микромоделей мнений и действий (по сравнению с инерционной моделью):

- для половины агентов величина ошибки уменьшилась, как минимум, на 60 % и 57 %,
- для пятой части агентов, как минимум, на 70 % и 68 %

### (II) УНИФИЦИРОВАННЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ МИКРОМОДЕЛИ

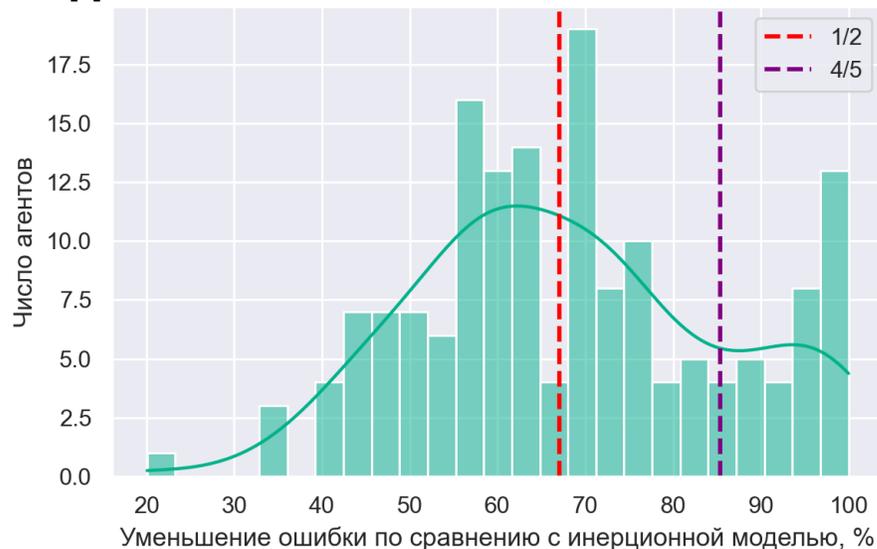
Мнение/действие агента в текущий момент зависит от: а) мнения и действий агента в предыдущий момент времени, б) воздействия всей сети, и в) воздействия друзей агента

- $$r_i^m = \beta_{i10} + \beta_{i11}r_i^{m-1} + \beta_{i12}\bar{r}_{-i}^{m-1} + \beta_{i13}\bar{y}_{-i}^{m-1} + \beta_{i14}\bar{y}_{-i}^{m-1} + \beta_{i15}\bar{r}_{N_i}^{m-1} + \beta_{i16}\bar{y}_{N_i}^{m-1},$$

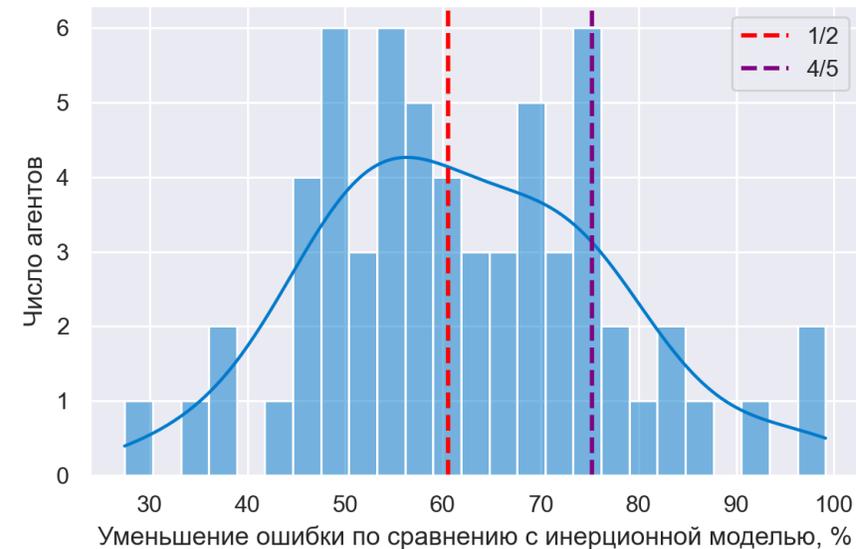
где  $m = 1, 2, \dots, \beta_{i10}, \beta_{i11}, \beta_{i12}, \beta_{i13}, \beta_{i14}, \beta_{i15}, \beta_{i16} \in \mathbb{R}$
- $$y_i^l = \beta_{i20} + \beta_{i21}\bar{r}_i^{l-1} + \beta_{i22}\bar{r}_{-i}^{l-1} + \beta_{i23}y_i^{l-1} + \beta_{i24}\bar{y}_{-i}^{l-1} + \beta_{i25}\bar{r}_{N_i}^{l-1} + \beta_{i26}\bar{y}_{N_i}^{l-1},$$

где  $l = 1, 2, \dots, \beta_{i20}, \beta_{i21}, \beta_{i22}, \beta_{i23}, \beta_{i24}, \beta_{i25}, \beta_{i26} \in \mathbb{R}.$

#### Модели динамики мнений:



#### Модели динамики действий:



Учет мнений и действий соседей агента улучшает качество микромоделей динамики мнений и действий:

- для половины агентов величина ошибки уменьшилась, как минимум, на 67 % (61 %)
- для пятой части агентов, как минимум, на 85 % (75 %), а в среднем на 68 % (62 %)

### (III) ПЕРСониФИЦИРОВАННЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ МИКРОМОДЕЛИ

Q6/ Зависит ли изменение мнения/действий агента от его доверия к источнику получаемой информации?  
А от содержания этой информации?

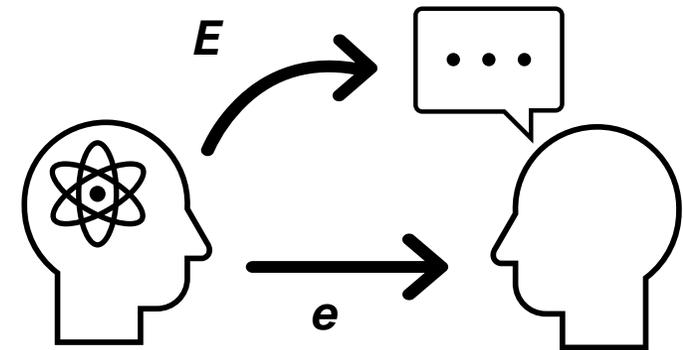
Доверие к содержанию информации и доверие к источникам информации определяется особенностями агента

**Функция доверия к содержанию информации  $E(\cdot)$ :**

- $E_c(h, g) = 1$  (доверчивые агенты)
- $E_\varepsilon^+(h, g) = \begin{cases} 1 - (h - g)^2, & h, g \in (0;1), \\ \varepsilon > 0, & (h - g)^2 = 1, \end{cases}$   
где  $\varepsilon > 0$  (агенты-консерваторы)
- $E_\varepsilon^-(h, g) = \min \{ \varepsilon + (h - g)^2, 1 \}$ , где  $\varepsilon > 0$  (агенты-новаторы)

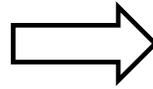
**Функция доверия агента к социальному окружению  $e(\cdot)$ :**

- «не дифференцирующая» функция (не различает друзей)
- функции, в которых доверие к другу пропорционально:
  - единице, числу друзей друга, числу общих друзей с этим другом
  - единице, числу друзей друга, числу общих друзей с другом (если друг активен)
  - активности друга по комментариям, по лайкам, по популярности друга
- Преобладают «агенты», доверяющие информации тем больше, чем больше она расходится с их мнением или действием. Особенно верно для индивидов женского пола
- Доверие к источникам (друзьям) имеет меньшее значение



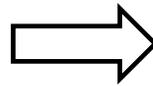
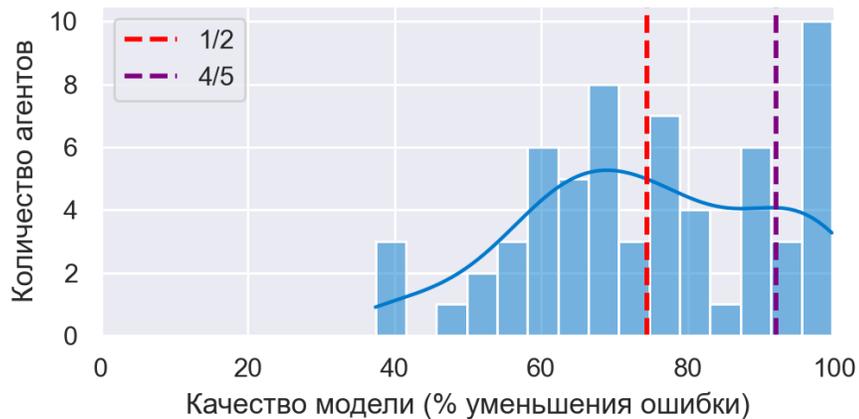
### (III) ПЕРСониФИЦИРОВАННЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ МИКРОМОДЕЛИ

#### Моделли динамики мнений



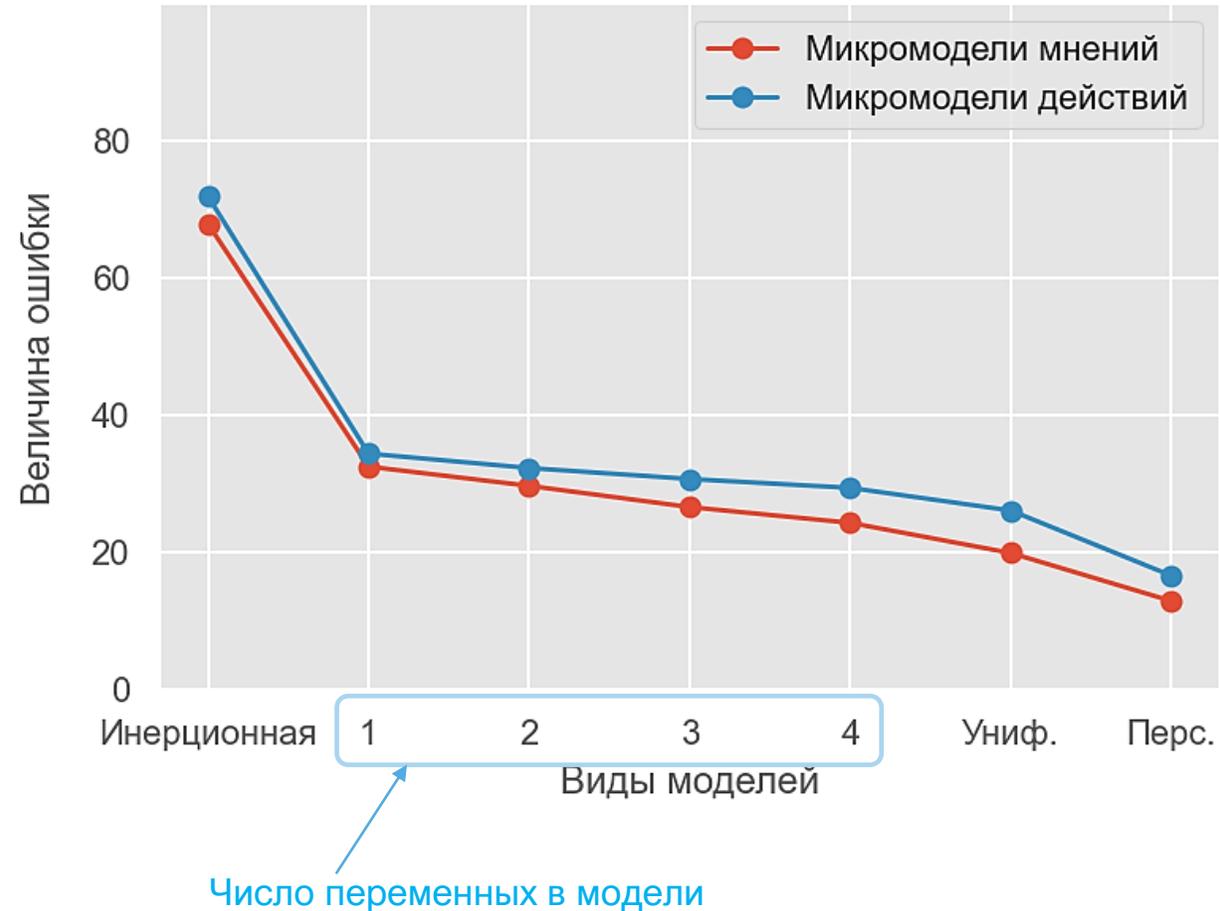
Ошибка инерционной модели уменьшилась в среднем на 77% ( $\geq 78\%$  для  $1/2$  агентов,  $\geq 97\%$  для  $1/5$  агентов)

#### Моделли динамики действий



Ошибка инерционной модели уменьшилась в среднем на 74% ( $\geq 74\%$  для  $1/2$  агентов,  $\geq 92\%$  для  $1/5$  агентов)

#### Переход от инерционных к персонифицированным моделям



## СРАВНЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ И ПОРОГОВЫХ МИКРОМОДЕЛЕЙ

Q7/ Какие модели лучше описывают динамику мнений и действий агентов – линейные или пороговые?

- Общий критерий качества – сбалансированная верность (*balanced accuracy*)
- Дискретизация результатов прогноза в линейных моделях: если прогноз больше 0, то его дискретное значение 1, иначе –1
- Качество линейных и пороговых моделей:

|                  | Модели мнений, $r_i^m$ | Модели действий, $y_i^l$ |
|------------------|------------------------|--------------------------|
| Линейные модели  | 0,80                   | 0,77                     |
| Пороговые модели | 0,78                   | 0,76                     |

**Пороговые модели** - агент выполняет определенное действие или соглашается с определенным мнением только тогда, когда социальное давление выше/ниже его индивидуального порога

- **Сопоставимое качество – линейные немного лучше**
- **Большая сложность линейных моделей (по числу параметров)**
- **Сопоставимые вычислительные затраты (за исключением двухпороговых моделей)**

## МОДЕЛИ СО СКРЫТЫМИ СОСТОЯНИЯМИ И НАБЛЮДАЕМЫМИ «ДЕЙСТВИЯМИ»

Состояние агента – скрытая (латентная) переменная, принимающее в момент времени  $t$  значение  $\theta_t \in [0; 1]$

Состояние определяет бинарные наблюдаемые «действия» агента (лайки, комментарии) в каждом периоде  $x_t \in \{0; 1\}$

- «1» («ЗА» ношение масок) с вероятностью  $\theta_t$
- «0» («ПРОТИВ» ношения масок) с вероятностью  $1 - \theta_t$

«Действие» – случайная величина, описываемая распределением Бернулли с плотностью

- $p(x, \theta) = \theta^x (1 - \theta)^{1-x}$ .

Апостериорная оценка (\*) момента разладки состояния

- $t_p = \arg \max_{t=1, T-1} d(x, t),$

где  $d(x, t) = t(T - t) \left[ \frac{1}{t} \sum_{\tau=1}^t x_\tau - \frac{1}{T-t} \sum_{\tau=t+1}^T x_\tau \right]^2$

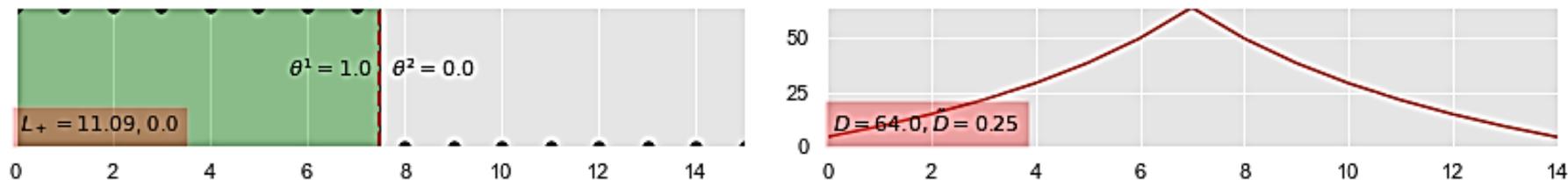
## ИДЕНТИФИКАЦИЯ СКРЫТОГО СОСТОЯНИЯ АГЕНТА

- Идентификация скрытых переменных на основе информации об их «действиях»
- Поиск при помощи (\*) момента однократной разладки для последовательности «действий» агента сети
- Критерий отбора агентов: 1)  $\geq 10$  «действий» «0» или «1»; 2)  $\geq 1$  «действия» «1» и  $\geq 1$  «действия» «0»  
Всего 2 тыс. агентов (4 % от общего числа агентов, совершивших действия «1» или «0»).
- Для каждого агента определяется момент разладки  $t_p$  и оценки  $\theta^1$  и  $\theta^2$
- Оценка качества обнаружения момента разладки при помощи  $\tilde{D} = \frac{\max_{t=1, T-1} d(x, t)}{T^2}$  и величины:

$$L_+ = \frac{\max_{t=1, T-1}}{\theta} \left( \max_{\theta} L(x_{1,t}, \theta) + \max_{\theta} L(x_{t+1, T}, \theta) \right) - \max_{\theta} L(x_{1, T}, \theta),$$

где  $L(x_{a,b}, \theta) = \sum_{\tau=a}^b [x_{\tau} \ln(\theta) + (1 - x_{\tau}) \ln(1 - \theta)]$  – логарифмическая функция правдоподобия на интервале  $\overline{a, b}$ .

- Пример найденного агента: а) временной ряд «действий» агента, (б) график функции агента  $d(x, t)$ .



- **Найдено около 300 агентов с однократной разладкой**

### III. Модели со скрытыми переменными

## ЛИНЕЙНЫЕ МИКРОМОДЕЛИ И СКРЫТОЕ СОСТОЯНИЕ АГЕНТА

Q5/ Под влиянием каких факторов происходит изменение мнений и действий агентов:  
латентные характеристики

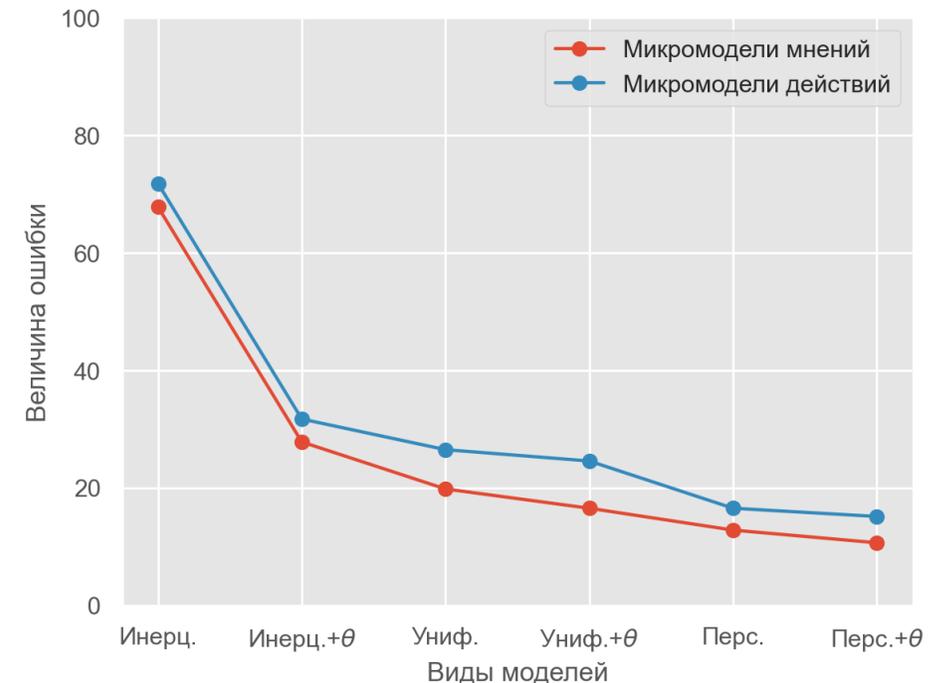
Микромодели совместной динамики мнений и действий для значимых агентов с учетом скрытого состояния

- Модель с переменной  $\theta$
- Инерционная модель с учетом  $\theta$
- Унифицированная модель с учетом  $\theta$
- Персонализированная модель с учетом  $\theta$

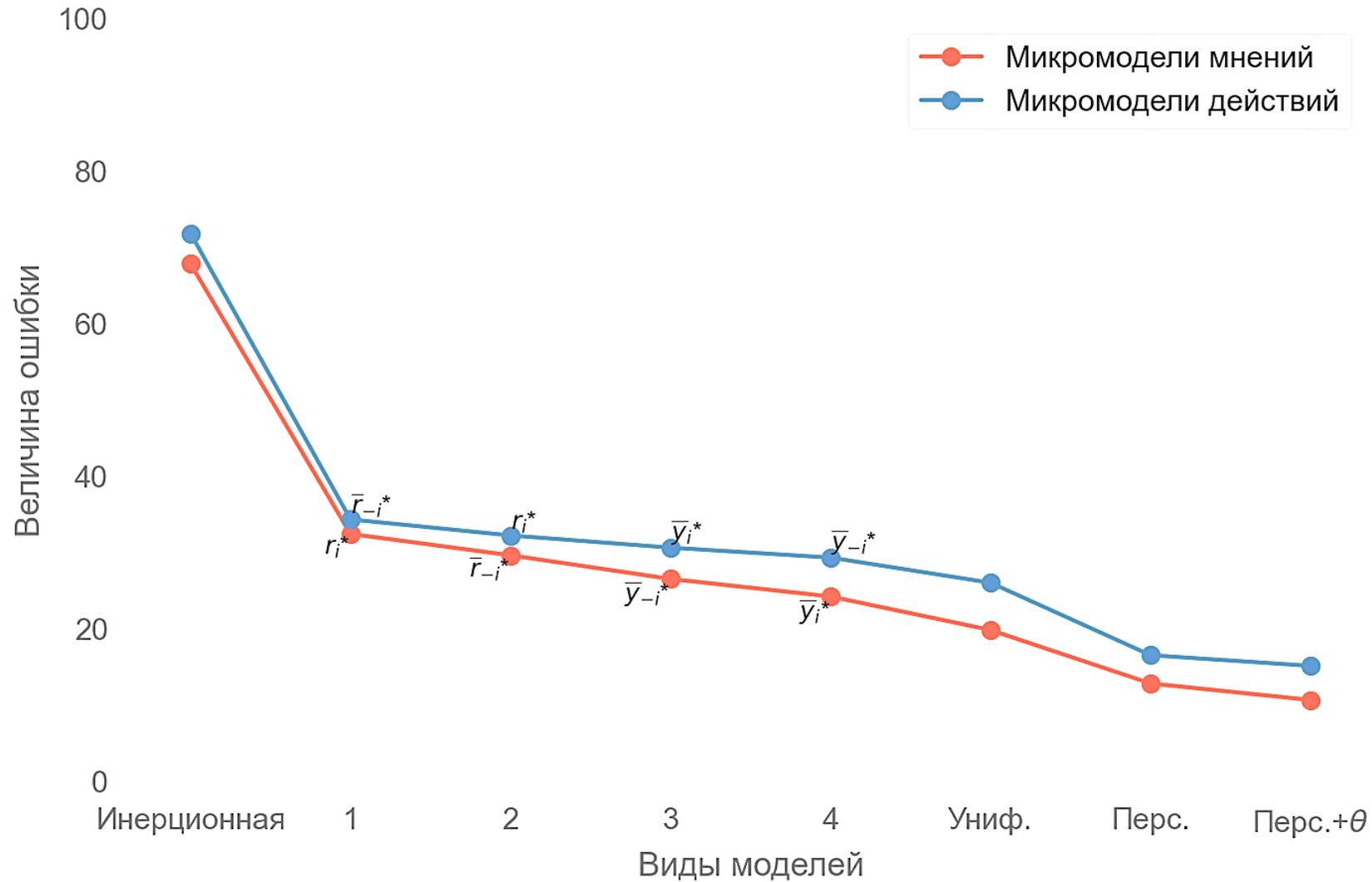
Сбалансированная верность модели с переменной  $\theta$  составляет 0,70 (модель мнений) и 0,64 (модель действий)

Прирост качества линейных микромоделей вследствие учета  $\theta$ :

|                            | Относительное изменение величины ошибки для модели мнений $r_i^m$ | Относительное изменение величины ошибки для модели действий, $y_i^l$ |
|----------------------------|---|--|
| Инерционные модели         | - 59 %  | - 56 %   |
| Унифицированные модели     | - 17 %  | - 7 %  |
| Персонализированные модели | - 17 %  | - 8 %  |



# «ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ»



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Выполнена идентификации мнений пользователей (агентов) социальной сети ВК (0,82 balanced accuracy) + получены ответы на вопросы Q1-Q7
- Выполнен анализ агентов сети с позицией о ношении масок. Выявлен рост поляризации агентов и негативного отношения к маскам. Активность связана с информационными событиями, прямой связи с заболеваемостью нет
- Проведен анализ сетей информационного взаимодействия агентов. В исследуемой сети отсутствует гомофилия, отсутствуют эхо-камеры единомышленников
- Найдено, что очень малая доля активных агентов изменяет свои мнения (~ 1 % от числа с мнениями), их соц.-дем. характеристики отличаются от характеристик агентов с мнениями  
Мнение агента оказывает воздействие на предпринимаемые им действия (и наоборот)
- Идентифицированы модели динамики мнений и действий (линейные и пороговые)  
На динамику в значительной мере влияют собственные убеждения (67 % влияния), социальное окружение (15 % влияния), собственные действия (3 % влияния), латентные переменные (2 % влияния) и другие факторы (13 % влияния).  
Учет доверия к содержимому информации имеет значение  
(напр., агенты чаще «прислушиваются» к информации, отличающейся от их мнения)

### Публикации

- Губанов Д.А., Новиков Д.А. Модели совместной динамики мнений и действий в онлайн-социальных сетях. Ч. 1-3. // Проблемы управления. 2023. № 2, 3, 4.



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**