

КВАНТОВОПОДОБНЫЕ ФЕНОМЕНЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ ЭМОЦИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ: МОДЕЛЬ, НАБОР ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Гнидко К.О.¹, Лисов Д.Н.²

Ключевые слова: математическое моделирование, информационная безопасность, социальные сети, анализ тональности, коллективные эмоции, броуновское взаимодействие, большие языковые модели, интерференция.

Аннотация

Цель исследования: разработка математической модели распространения коллективных эмоций в социальных сетях; экспериментальная проверка гипотезы о возникновении квантовоподобных феноменов при много-агентном взаимодействии акторов массовой коммуникации посредством информационного поля.

Методы исследования: анализ тональности текстовых сообщений (сентимент-анализ) с использованием большой языковой модели; снижение размерности признакового пространства на основе метода главных компонент; статистическая обработка и визуализация данных.

Полученные результаты: разработана междисциплинарная математическая модель распространения коллективных эмоций в социальных сетях, основанная на концепции броуновского взаимодействия агентов. Модель учитывает эмоциональные состояния субъектов коммуникации через психологические переменные — валентность и эраузал, что позволяет моделировать динамику эмоций на индивидуальном и коллективном уровнях. Для экспериментальной проверки гипотезы о квантовоподобных феноменах проанализировано 2246 сообщений и 50326 комментариев из сообщества «Мировая политика» социальной сети «ВКонтакте» с декабря 2017 по июнь 2018 года. Результаты эксперимента показали, что взаимодействие агентов через информационное поле вызывает усиление или ослабление коммуникативной активности, проявляющееся в распределении эмоциональных параметров, схожем с интерференционной картиной. Установлена корреляция между «мотивационной силой» сообщений (лайки, репосты) и их эмоциональным тоном (валентность), что подтверждает наличие квантовоподобных эффектов, таких как интерференция и суперпозиция.

Научная новизна: представленная модель динамики коллективных эмоций в социальных сетях имеет междисциплинарный характер и учитывает современные результаты в области психологии и социологии, что отличает её от традиционных подходов, не рассматривающих нелинейные эффекты, обусловленные субъективными особенностями участников коммуникации. Впервые введена концепция «информационного поля» как среды, опосредующей взаимодействие агентов массовой коммуникации, что позволяет описывать наблюдаемые квантовоподобные феномены, такие как интерференция эмоциональных состояний субъектов массовой коммуникации. Авторский вклад включает разработку оригинального набора данных (эмоционально окрашенных текстовых сообщений и комментариев пользователей социальной сети), размещенного в открытом доступе, что обеспечивает воспроизводимость эксперимента и расширяет возможности для будущих исследований. Для получения количественных оценок тональности сообщений (сентимент-анализа), в отличие от предыдущих работ, использовавших наборы специализированных словарей, авторами применен алгоритм на основе большой языковой модели, что позволило более точно учесть контекст, сложные языковые конструкции, иронию и сарказм.

DOI: 10.24412/1994-1404-2025-2-79-94

¹ Гнидко Константин Олегович, доктор технических наук, доцент, заместитель руководителя группы Научного центра информационных технологий и искусственного интеллекта АНОО ВО «Университет «Сириус», Федеральная территория «Сириус», Российская Федерация. ORCID: 0000-0002-8605-8865.

E-mail: gnidko.ko@talantiuspeh.ru

² Лисов Дмитрий Николаевич, младший научный сотрудник Научного центра информационных технологий и искусственного интеллекта, АНОО ВО «Университет «Сириус», Федеральная территория «Сириус», Российская Федерация. ORCID: 0000-0002-8214-4109.

E-mail: lisov.dn@talantiuspeh.ru

Введение

Моделирование процессов распространения информации в сетевых структурах является актуальной научно-технической задачей, имеющей высокую значимость для информационной безопасности. Исторические примеры подтверждают критическую важность изучения подобных механизмов. Так, анализ протестных движений в Сирии, Ливии, на территории Украины и в Республике Казахстан выявил значительное влияние социальных сетей на развитие так называемых «цветных революций» [1—3].

При этом особый интерес представляют процессы распространения в социальных сетях эмоционально окрашенных сообщений, поскольку именно они формируют повестку дня, мобилизуют группы пользователей и могут приводить к дестабилизации общественно-политической обстановки. Сообщения, вызывающие эмоциональный отклик [4], распространяются с большей скоростью и охватом, чем нейтральные сообщения. Это связано с тем, что пользователи склонны делиться информацией, вызывающей сильные эмоции, для выражения своей позиции или принадлежности к определенной группе.

Математические модели распространения информации, основанные на многоагентных системах и эпидемических моделях, позволяют не только предсказать динамику конфликта, но и выявить на ранних стадиях признаки его искусственного стимулирования через манипуляцию информационными потоками.

Таким образом, моделирование распространения эмоциональных сообщений в социальных сетях является не только важной научной задачей, но и критическим направлением обеспечения информационной безопасности, требующим дальнейшего изучения и внедрения.

Информационное взаимодействие субъектов коммуникации в онлайн-сообществах отличается от межличностного общения рядом ключевых особенностей. Наиболее значимые из них перечислены ниже.

1. В современных условиях субъектами массовой коммуникации могут быть не только пользователи-люди, но и агенты искусственного интеллекта, представленные, например, большими языковыми моделями.

2. Скорость реакции на стимулы и, соответственно, динамика эволюции эмоционального фона в средствах массовой коммуникации отличается от соответствующих показателей «традиционной» информационной среды. Часто в процессе коммуникации наблюдаются регулярные сдвиги по времени, связанные с периодичностью обновления того или иного информационного ресурса.

3. Существуют отличия в значении порогового уровня возбуждения, достигнув которого, индивид принимает решение поделиться своей эмоцией с другими, а сама передача эмоционального состояния осуществляется, как правило, посредством размещения на информационном ресурсе текстового сообщения.

4. Анонимность общения в сети зачастую побуждает субъектов массовой коммуникации нарушать принятые в обществе нормы поведения и морали.

5. Теория слабых связей Грановеттера, многократно подтвержденная экспериментами [5, 6], подчеркивает влияние многочисленных связей малой силы, наблюдаемых между членами онлайн-сообществ, на скорость распространения информации. При этом поддержание виртуальных слабых связей требует от субъекта коммуникации существенно меньше усилий, чем поддержание сильных связей в реальной жизни.

6. Специфическим объектом исследования в рамках данной работы являются эмоционально окрашенные текстовые сообщения, которыми обмениваются участники массовой коммуникации. Количественная оценка эмоции, передаваемой в сообщении, может быть представлена в двумерном базисе, координатными осями которого являются знак (валентность) и интенсивность (эраузал), в терминах Дж. Рассела³ [7].

В современных информационных сообществах регулярно наблюдаются примеры спонтанного всплеска и постепенного угасания интереса большого количества людей к определенным явлениям, фактам и событиям реального и виртуального мира. Как правило, данные процессы следуют одному и тому же сценарию: пользователи средств массовой коммуникации реагируют на информационные поводы и, в зависимости от множества факторов (включая их личный жизненный опыт), начинают испытывать негативные или позитивные эмоции. Дальнейшее развитие сценариев в реальном мире определяется совокупностью начальных условий, действующих внешних сил и стохастических факторов, однако несомненна связь таких процессов с жизненно важными областями жизнедеятельности общества и государства: политической, социальной, экономической, что обуславливает высокую актуальность исследований в области моделирования названных процессов.

Исследователи в разных областях научного знания неоднократно обращали внимание на возможные аналогии между закономерностями, наблюдаемыми в процессе жизнедеятельности сложных социальных систем, и явлениями, происходящими в мире субатомных частиц. Так, например, И.М. Фейгенберг и И.В. Гуревич в явном виде указывают на схожесть психологических процессов и квантовых феноменов микромира: «...может оказаться, что и в психологии, так же как и в микрофизике, существует интерференция амплитуд вероятностей»⁴. Предпосылки для выдвижения гипотезы о применимости математического аппарата

³ Russell J.A. A circumplex model of affect // Journal of Personality and Social Psychology. 1980. Vol. 39. No. 6. P. 1161–1178.

⁴ Гуревич И.В., Фейгенберг В.В. Какие вероятности «работают» в психологии // Вероятностное прогнозирование в деятельности человека. М.: Наука, 1977. С. 9—21.

квантовой механики к моделированию психологических и социальных явлений содержатся в работах Р. Пенроуза (за нерациональное бессознательное поведение и эмоции человека «отвечают» квантовые процессы, происходящие в нано-структурах мозга), А.Ю. Хренникова [8, 9] (автоматические процессы в области бессознательного адекватно описываются тем же математическим аппаратом неархимедова анализа, что и квантовые процессы). Всестороннему анализу современных взглядов на глубокие взаимосвязи между феноменом сознания и квантовой механикой посвящен сборник [10].

В то же время некоторые известные модели, применяющие для описания поведения человека квантовоподобные формализмы, например, [11], позволяют формально описать динамику ментальных состояний, но не учитывают эффектов взаимодействия субъектов коммуникации в общей информационной среде. Модели, предложенные в работе [12], учитывают многоагентное взаимодействие, однако модель включает в себя всего один информационный повод.

Известные динамические модели индивидуальных и групповых психических процессов [13] в настоящее время не способны адекватно описать некоторые принципиально важные свойства эмоций, имеющие теоретическое обоснование и подтвержденные результатами экспериментальных исследований. Модели убеждения и распространения влияний [14, 15], в свою очередь, не учитывают относительно короткий срок существования эмоциональных состояний, их нерациональность, нелинейную зависимость от внешних и внутренних факторов, в том числе имеющих субъективную и стохастическую природу.

Отдельные вычислительные модели способны довольно точно воспроизводить динамику макроскопических показателей коллективных эмоций в онлайн-сообществах, однако практически непригодны для аналитической интерпретации полученных результатов. Кроме того, значительная часть таких моделей имеют исключительно умозрительный характер и основаны на гипотезах, не имеющих достаточно прочного теоретического обоснования в психологии и социологии. Частные модели, разработанные для конкретных событий (например, [16]) и онлайн-сообществ [17], имеют сильную привязку к моделируемым процессам либо механизмам информационного взаимодействия членов этих конкретных онлайн-сообществ и не обладают достаточным уровнем универсальности.

В рамках настоящего исследования была принята попытка устранить указанные противоречия и разработать модель процессов, происходящих при непрямом распространении эмоционально окрашенной информации в социальных сетях с учетом различных когнитивных состояний участников коммуникации и при различных информационных поводах. Дополнительной целью являлась проверка адекватности аналогии между эффектами, наблюдаемыми в ходе непрямого информационно-эмоционального взаимо-

действия пользователей социальных сетей, и интерференционной картиной, получаемой в ходе широко известного в квантовой физике эксперимента с двумя щелями.

Интерференция или эксперимент с двумя щелями, согласно Р. Фейнману, «заключает в себе сердце квантовой механики» и является квинтэссенцией принципа квантовой суперпозиции. Принцип интерференции как основной принцип волновой оптики впервые был сформулирован в 1801 году Т. Юнгом. Ученый так наглядно поясняет открытый им принцип (эксперимент, известный в наше время под названием «двухщелевой эксперимент Юнга»): «для получения эффектов наложения двух порций света необходимо, чтобы они исходили из одного источника и приходили в одну и ту же точку по разным путям, но по близким между собой направлениям». В рамках рассматриваемой аналогии интерференционная картина сложных коллективных эмоций формируется в результате прохождения одного и того же (априори эмоционально нейтрального) информационного сообщения, публикуемого в сообществе, через когнитивные каналы пользователей, опосредованно взаимодействующих между собой и оказывающих влияние на эмоциональное состояние других пользователей.

В ходе проведения экспериментального исследования были выполнены следующие основные этапы: получение доступа к сообщениям открытого сообщества социальной сети «ВКонтакте»; сбор и селекция исходных данных посредством официального программного интерфейса приложения (API) с применением функционально-ориентированного языка программирования высокого уровня Python; формирование априорного признакового пространства экспериментальной модели; выявление наиболее информативных признаков и значимых факторов с формированием ортогонального базиса некоррелированных главных компонент; статистическая обработка и визуализация результатов исследования.

В рамках частных сопутствующих подзадач разработаны специализированные программные модули сбора, обработки и визуализации данных из социальных сетей и сети Интернет.

Эмоциональные состояния субъектов коммуникации, описанные в координатном пространстве двух психологических переменных: валентности и эраузала [7], в рамках проведенного эксперимента интерпретировались как квантовые состояния, причём валентность соотносилась с координатой, а эраузал (энергетическая психологическая переменная) — с импульсом частицы. С квантовой точки зрения две данные переменные линейно независимы, то же справедливо для предлагаемой концепции представления эмоциональных состояний пользователей в момент отправки сообщений в координатах «валентность-эраузал».

Главными результатами экспериментального исследования являются полученные эмпирические распределения наблюдаемых признаков, характеризующие

состояния акторов социальной сети в процессе непрямого распространения эмоционально окрашенной информации в социальных сетях, а также их интерпретация, подтверждающая гипотезу о квантовоподобном характере непрямого взаимодействия акторов социальной сети. В частности, продемонстрирована аналогия феномена светоиндуцированной прозрачности, известного в квантовой оптике, с существенным ослаблением восприимчивости сетевого сообщества к эмоционально нейтральным сообщениям в результате сложного информационного взаимодействия между собой и сильным информационным полем.

Модель индивидуальных эмоциональных состояний субъектов массовой коммуникации

В основу исследования положены модели формального представления базовых эмоций в координатном пространстве «валентность-эраузал» Дж. Рассела, модель броуновского взаимодействия, а также технология автоматического анализа эмоциональной тональности текстов («сентимент-анализ») на основе передовой мультимодальной большой языковой модели (БЯМ) GPT-4o⁵.

Важным в контексте описываемой модели является обоснованное допущение о том, что эмоции индивидуальных акторов (агентов принятия решения) информационно-коммуникационного процесса транслируются обратно в средства массовой коммуникации и становятся, таким образом, достоянием всего сообщества пользователей информационного ресурса. Очевидно, однако, что пользователи обмениваются не самими эмоциями, а сообщениями, несущими определенную эмоциональную нагрузку и способными вызвать изменение эмоционального состояния у других пользователей, прочитавших данное сообщение. В зависимости от результата информационного воздействия, реципиент сообщения может либо принять решение включиться в коммуникацию и передать свое отношение (позитивное или негативное) другим пользователям, либо проигнорировать сообщение. При определенных условиях описанная модель коммуникации может наблюдаться в малых группах, однако чаще подобный сценарий наблюдается в онлайн-сообществах, насчитывающих тысячи пользователей. При этом субъекты коммуникации могут выражать свои эмоции однократно, регулярно-последовательно или спорадически. Возникающий при этом коллективный эмоциональный фон не всегда является однородным. Чаще наблюдается возникновение двух конкурирующих коллективных эмоций: «негативной» и «позитивной», что является отражением социокультурной неоднородности общества. Как правило, интенсивность обмена эмоциями угасает с течением времени, однако при срабатывании определенного триггера (внешнее событие или публи-

кация нового сообщения) может наблюдаться новый всплеск.

Пусть моделируемая система состоит из N взаимодействующих агентов. Броуновский агент может быть описан набором переменных состояния u_i^k , где $i = 1, \dots, N$ — номер агента, а k — номер соответствующей переменной. Переменные состояния могут быть представлены как внешними (то есть доступными для наблюдения) параметрами, так и внутренними степенями свободы, оценка которых возможна лишь по косвенным признакам. Значения переменных, как внешних, так и внутренних, могут изменяться с течением времени, либо вследствие внешних воздействий среды, либо в силу внутренней динамики. Таким образом, в наиболее общем виде динамика изменения переменных состояний может быть описана следующим уравнением:

$$\frac{du_i^k}{dt} = f_i^k + \mathcal{F}_i^{stoch}. \quad (1)$$

Уравнение (1) является отражением принципа причинности: любое изменение состояния агента во времени обусловлено воздействием некоторой совокупности факторов. Для концепции броуновского взаимодействия агентов за основу принято следующее допущение: всякое изменение состояния может быть описано как суперпозиция детерминированного и стохастического воздействия на агента i . Данное допущение, в свою очередь, базируется на гипотезе Ланжевена относительно описания броуновского движения.

Таким образом, совокупность ненаблюдаемых воздействий описывается обобщенным стохастическим компонентом $\mathcal{F}_i^{stoch}$, а совокупность детерминированных воздействий представлена компонентом f_i^k . При этом стохастическая составляющая вовсе не обязательно должна обладать характеристиками белого шума. Напротив, весьма вероятно присутствие и даже доминирование в ней окрашенных и мультипликативных шумов. Значимость влияния стохастической компоненты на конкретную переменную состояния может варьироваться для различных агентов. Влияние на неё могут оказывать как внешние параметры среды, так и внутренние степени свободы агента. Детерминированная составляющая f_i^k объединяет все поддающиеся наблюдению и моделированию факторы, которые способны вызвать изменение переменной состояния u_i^k . К ним может относиться взаимное влияние агентов друг на друга, имеющее нелинейный характер, поэтому в общем случае f_i^k может быть функцией от всех переменных состояния, описывающих любого агента, включая агента i .

Однако в соответствии с предложенной концепцией детерминированный компонент f_i^k должен позволять моделировать результат воздействия на агента со стороны внешней информационной среды, а также реакцию агента на поступившую информацию. Помимо этого, компонент f_i^k должен отражать внутреннюю динамику эмоций агента, заключающуюся в постепен-

⁵ Hello GPT-4o. URL: <https://openai.com/index/hello-gpt-4o/> (дата обращения: 04.01.2025).

ном затухании значений переменных состояния вследствие достижения эмоционального насыщения или истощения. Чтобы описать моделируемую многоагентную систему, нам необходимо в явном виде указать переменные состояния u_i^k и динамические законы их изменения с течением времени f_i^k . При этом следует подчеркнуть, что эмерджентность, проявляющаяся в возникновении феномена коллективных эмоций, порождается не на макроскопическом уровне, а исключительно на «микроскопическом» уровне индивидуальных агентов вследствие их многократного взаимодействия между собой. Для представления состояния агента i будем использовать две линейно независимые переменные: валентность $v_i(t)$ и эраузал $a_i(t)$, которые задают двумерное фазовое пространство (плоскость) эмоций. Значение валентности отражает позитивный или негативный характер эмоции, а эраузал — уровень активности (возбуждения), порождаемой конкретной эмоцией. Таким образом, эмоциональное состояние агента $e(t)$ в любой момент времени может быть указано парой координат на плоскости: $e(t) = v_i(t), a_i(t)$. Например, «восхищение» — это состояние, при котором значения эраузала и валентности положительны; «удовлетворённость» — комбинация положительной валентности и отрицательного эраузала; «депрессия» — крайнее проявление отрицательных значений эраузала и валентности; «раздражение» — сочетание отрицательной валентности и положительного эраузала и т. д. (рис. 1).



Рис. 1. Условное представление различных эмоциональных состояний в координатном пространстве «валентность-эраузал»

Подчеркнём, что обе переменные (v_i и a_i) описывают внутреннюю динамику состояний агента, недоступны для непосредственного наблюдения и могут быть оценены только по косвенным признакам, например, посредством тестирования или психофизиологического обследования. В рамках разрабатываемой модели примем в качестве допущения, что при отсутствии внешних возбудителей эмоциональное состояние агента с течением времени стремится к нейтральному равновесному состоянию:

$$e_i(t) \xrightarrow{t \rightarrow \infty} 0, \text{ т. е. } v_i(t) \xrightarrow{t \rightarrow \infty} 0, a_i(t) \xrightarrow{t \rightarrow \infty} 0. \quad (2)$$

Тогда уравнение (1) может быть представлено в следующем виде:

$$\begin{cases} \dot{v}_i = -\gamma_{vi}v_i(t) + \mathcal{F}_v + A_{vi}\xi_v(t) \\ \dot{a}_i = -\gamma_{ai}a_i(t) + \mathcal{F}_a + A_{ai}\xi_a(t) \end{cases} \quad (3)$$

где коэффициенты γ_{vi} и γ_{ai} характеризуют скорость экспоненциального затухания значений валентности и эраузала соответственно для i -го агента при отсутствии внешних раздражителей; $\mathcal{F}_v$ и $\mathcal{F}_a$ — детерминированные компоненты динамики валентности и эраузала; $\xi_v(t)$ и $\xi_a(t)$ — стохастические значения валентности и эраузала; A_{vi} и A_{ai} — весовые коэффициенты, отражающие степень влияния стохастических факторов на значения валентности и эраузала i -го агента.

Конкретный вид аналитических выражений, моделирующих детерминированные компоненты $\mathcal{F}_v$ и $\mathcal{F}_a$, зависит от множества допущений, сделанных нами относительно как внешних факторов (таких, например, как процессы взаимодействия агентов и процедуры их доступа к информационному пространству), так и внутренних (уровень эмпатии агентов в сообществе, активность обмена информацией и прочее). Однако представляется справедливым, что в наибольшей степени данные компоненты должны зависеть от эмоциональных состояний самих агентов. Иными словами, те агенты, которые уже находятся в определённых эмоциональных состояниях, должны демонстрировать более сильную реакцию на эмоционально окрашенные сообщения (того же или противоположного знака), поступившие от других пользователей. Прежде чем подробно рассмотреть вид функций $\mathcal{F}_v$ и $\mathcal{F}_a$ рассмотрим описание информационной активности агентов.

Если совокупное влияние детерминированной и стохастической компонент настолько мало, что им можно пренебречь, динамика эмоциональных состояний, определяемая (3), подразумевает наличие стационарного состояния $e_i(t) \xrightarrow{t \rightarrow \infty} 0$. Однако если агент получает из внешней среды эмоционально значимую информацию, то детерминистская и стохастическая компоненты уравнения (3) могут компенсировать естественное затухание абсолютных значений валентности и эраузала, а в ряде случаев приводят к их скачкообразному увеличению. В этом случае агент переходит в возбуждённое состояние, которое, однако, не является наблюдаемым до тех пор, пока агент не проявит данный факт посредством публикации сообщения в средствах массовой коммуникации.

Иными словами, гипотеза заключается в том, что агент косвенным образом демонстрирует текущее значение переменной валентности (т. е. своё позитивное или негативное отношение к чему-либо) лишь в тех случаях, когда значение эраузала превышает некоторое пороговое значение τ_i , индивидуальное для каждого агента. В целях упрощения дальнейших рассуждений

будем исходить из допущения, что если пороговое значение эраузала достигнуто, то агент в своем сообщении передаёт лишь часть информации о своём эмоциональном состоянии, а именно — знак валентности v_i (+1 или -1):

$$s_i(t + \Delta t) = \text{sign}(v_i(t))\Theta[a_i(t) - \tau_i], \quad (4)$$

где $\Theta[a_i(t)]$ — оператор Хевисайда от переменной эраузала, который принимает значение 1, если $a_i \geq 0$, и 0 — в остальных случаях.

Введённое допущение о бинарном характере проявляемых значений валентности не ведёт к потере общности следующих рассуждений и является необходимым только с практической точки зрения для упрощения построения базовой модели. Уравнение (4) также отражает тот факт, что агент не демонстрирует изменение своей валентности посредством публикации в средствах массовой коммуникации непосредственно в момент, когда значение эраузала превышает некое индивидуальное пороговое значение. Чаще между данным событием и публикацией сообщения наблюдается временная задержка Δt , которая может быть обусловлена такими причинами, как, например, отсутствие доступа к средствам передачи информации или высокая загруженность текущими делами. Очевидно, что должна существовать зависимость между субъективной значимостью эмоции и длительностью задержки (чем эмоции сильнее, тем меньше задержка). Исходя из результатов известных исследований по определению закона распределения времени задержки между возникновением потребности (постановкой задачи) и началом ее реализации в различных видах человеческой деятельности (например, при ответе на электронные письма), мы можем предположить, что случайная величина Δt распределена по степенному закону $P(\Delta t) \propto \Delta t^{-\alpha}$, где параметр α должен быть определен эмпирическим путем.

Из выражения (4) может быть получена оценка количества публикаций эмоционально окрашенных сообщений за данный промежуток времени как

$$N_s(t) = \sum_i \Theta[a_i(t) - \tau_i] \quad (5)$$

В случае непрерывного времени среднее количество таких сообщений за заданный интервал времени может быть получено в виде:

$$n_s(t) = \frac{1}{t_{\text{end}}} \int_0^{t_{\text{end}}} N_s(t) dt \quad (6)$$

Таким образом, уравнения 1—6 описывают внутреннюю динамику эмоций отдельного агента, которая приводит к внешне наблюдаемому проявлению эмоционального состояния через публикацию сообщения в сетевом сообществе. Для того, чтобы перейти к моделированию коллективных эмоций, необходимо формально описать процесс взаимодействия этого сообщения с другими агентами, действующими в общем информационном пространстве.

Динамическая модель коллективных эмоций

Будем исходить из допущения, что сообщения, имеющие позитивную или негативную эмоциональную окраску, формируют в соответствии со знаком своей валентности информационные поля $h_+(t)$ и $h_-(t)$. Совокупность этих полей $h_{\pm}$ образует коммуникационную среду, в которой происходит обмен эмоциональными сообщениями между авторами и читателями блогов, участниками форумов и т. д. Пусть публикация сообщения $s_i(t)$ каждым из агентов увеличивает значение h_+ или h_- на фиксированное значение s в промежуток времени t . Также примем, что значимость и мера влияния сообщения на других агентов убывает с течением времени (то есть, например, старые сообщения в блоге вызывают меньший эмоциональный отклик у подписчиков, чем недавно размещённые). Наконец, на динамику информационного поля могут оказывать влияние внешние факторы, имеющие в общем случае стохастическую природу. Тогда динамика количества сообщений, имеющих положительную и отрицательную окраску, в нашей модели может быть описана следующим аналитическим выражением

$$\dot{h}_{\pm} = -\gamma_{\pm} h_{\pm}(t) + sN_{\pm}(t) + I_{\pm}(t), \quad (7)$$

где $\gamma_{\pm}$ — коэффициент затухания эмоциональной значимости сообщения; $N_{\pm}(t)$ — совокупное количество агентов, оставивших положительные или отрицательные сообщения в промежуток времени t ; $I_{\pm}(t)$ — влияние стохастических факторов на соответствующее информационное поле. Схематичное изображение связей между основными элементами разработанной модели представлено на рис. 2.

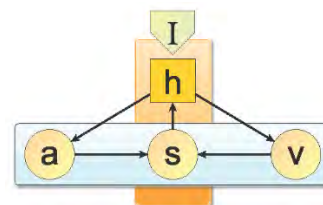


Рис. 2. Связи между основными элементами модели коллективных эмоций

Отметим, что представленную модель можно условно разделить на два слоя: внутренний слой, отражающий динамику изменения переменных агента (на рисунке изображен горизонтально) и внешний слой, описывающий непосредственно процесс коммуникации (изображен вертикально). На внутреннем слое психологические переменные (эраузал и валентность) определяют наличие и знак тональности сообщения s , которое достигает внешнего слоя посредством публикации в информационном поле h . Поле h , в свою очередь, обладает собственной динамикой (см. (7)) и подвержено влиянию внешних стохастических факторов I . Замыкание причинно-следственных связей модели происходит за счет наличия обратного воздействия информационного поля h на валентность и эраузал каждого агента.

Для того, чтобы модель приобрела завершённый вид, необходимо рассмотреть процесс воздействия информационного поля h на эмоциональное состояние агентов, то есть формально описать вид функций $\mathcal{F}_v$ и $\mathcal{F}_a$.

В контексте решаемой задачи наша гипотеза заключается в том, что эмерджентный феномен коллективных эмоций не может быть сведен к совокупности внутренних эмоциональных состояний агентов. Эмоциональное состояние одного агента может прямым или косвенным образом влиять на эмоциональные состояния других агентов, порождая весьма сложные картины взаимодействия.

В соответствии с предложенной гипотезой результат воздействия информационного поля зависит от знака текущего эмоционального состояния самого агента.

Так, например, если мы предположим, что агенты с положительной валентностью в основном реагируют на позитивный информационный контент (и наоборот), то выражение для $\mathcal{F}_v$ может быть представлено в следующем виде:

$$\mathcal{F}_v \propto \frac{r_i}{2} \{ (1 + r_i) f[h_+(t)] - (1 - r_i) f[h_-(t)] \}, \quad (8)$$

где $r_i = \text{sign}(v_i(t))$ и $f(h_{\pm}(t))$ — некоторые функции, зависящие от h_+ или h_- . Тогда при положительной валентности агента ($r_i(t) = +1$) выражение (8) сводится к $\mathcal{F}_v \propto f[h_+(t)]$, а при отрицательной валентности $r_i(t) = -1$ имеем $\mathcal{F}_v \propto f[h_-(t)]$.

При этом вполне очевидно, что сама функция должна иметь нелинейный характер. Для моделирования этой зависимости может быть использована полиномиальная функция вида:

$$f[h_{\pm}, v_i(t)] = h_{\pm}(t) \sum_{k=0}^n b_k v^k(t), \quad (9)$$

где коэффициенты b_k определяют вид функции. В рамках настоящего исследования они полагаются одинаковыми для положительных и отрицательных валентностей, хотя в общем случае могут принимать различные значения.

Представляется оправданным также применение для моделирования детерминированной составляющей эраузала и валентности сигмоиды (монотонно возрастающей всюду дифференцируемой S-образной нелинейной функции с насыщением). Существенным для нашей модели свойством сигмоиды является ее способность усиливать слабые сигналы и не насыщаться от сильных сигналов. Примером сигмоидальной функции активации может служить логистическая функция, задаваемая выражением:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}} \quad (10)$$

где α — параметр наклона сигмоидальной функции активации. Изменяя этот параметр, можно построить функции с различной крутизной.

Как было сказано выше, эраузал как психологическая переменная отражает готовность проявлять активность в соответствии со значением переменной валентности. Если эраузал превышает некое пороговое значение, то агент выражает свои эмоции путем публикации сообщения. При этом сам факт выражения эмоций оказывает влияние на результирующее значение эраузала. В частности, будет логичным предположить, что после совершения акта коммуникации величина эраузала уменьшается или, в самом простом случае, возвращается к начальному значению.

Формальное описание динамики эраузала, таким образом, может быть условно разделено на два интервала: до достижения порога и после. Обозначим допороговую динамику в виде $\dot{a}$. Тогда выражение (3) для эраузала может быть представлено в виде:

$$\dot{a}_i = \dot{a}(t) \Theta[\tau_i - a_i(t)] - a_i(t) \Theta[a_i(t) - \tau_i] \quad (11)$$

До тех пор, пока $x = \tau_i - a_i(t) > 0$, $\Theta[x] = 1$, динамика эраузала определяется значением $\dot{a}$. Однако после достижения порогового значения $x \geq 0$, $\Theta[x] = 0$, $\Theta[-x] = 1$, значение эраузала возвращается к нулевому значению за счет слагаемого $-a_i(t)$.

Итоговый вид функции $\mathcal{F}_a$ для допороговых значений эраузала определяется принятыми нами гипотезами относительно характера изменения данной психологической переменной.

В частности, можно допустить, что изменение эраузала агентов пропорционально сумме сообщений позитивной и негативной тональности, размещенных в информационном поле h_+ , а также нелинейным образом зависит от текущего значения эраузала и не зависит от состояния валентности агента:

$$\mathcal{F}_a \propto [h_+(t) + h_-(t)] \sum_{k=0}^n d_k a^k(t) \quad (12)$$

С другой стороны, может быть рассмотрена модель, в рамках которой агенты реагируют на доступную информацию только в том случае, когда их значение эраузала положительно, поскольку отрицательные значения эраузала связаны с состояниями низкой активности (усталость, сонливость, депрессия, скука). В данном случае для описания эраузала может быть предложена линейная функция зависимости вида:

$$\mathcal{F}_a \propto [h_+(t) + h_-(t)] a(t) \Theta[a(t)]. \quad (13)$$

Однако наиболее правдоподобной нам представляется следующая гипотеза: агенты реагируют на размещенные в информационном поле сообщения определенной валентности в том случае, если их эраузал положителен, а значение внутренней переменной валентности агента противоположно по знаку валентности соответствующего информационного поля. Иными словами, внутренний протест и желание проявить активность в поддержку собственного мнения вызывает

post_id	date	from_id	text	likes	reposts	_of_coi	pos	neg	explanation
Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фи...	Фи...	Фильтр
1261198	2018-04-20...	-50377583	Балтфлот двинет в поход на Англию, ...	102	16	55	2	4	The text expresses aggressive and confrontational ...
1261223	2018-04-20...	-50377583	Самый опасный город для женщин ждет...	76	10	53	1	5	The text discusses the dangers that women face in...
1261235	2018-04-20...	-50377583	Космический майнстрим: технологии, ...	76	11	22	4	2	The text primarily conveys a positive sentiment ...
1261253	2018-04-20...	-50377583	Мировая отслеживает эту тему. Мы ...	52	2	12	5	2	The text expresses strong positive sentiment ...
1261265	2018-04-20...	-50377583	Немцы взмолились об отмене ...	109	13	32	3	4	The sentiment of the text is mixed, with elements ...
1261292	2018-04-20...	-50377583	Понтиак с топором войны ...	106	23	5	4	2	The text discusses Pontiac, a historical figure ...
1261316	2018-04-20...	-50377583	Безумная затея: экранопланы с ...	79	5	9	2	4	The text discusses screenoplanes with ...
1261332	2018-04-20...	-50377583	#ИсторияМП #ВОВ_МП	121	18	7	3	2	The text includes hashtags related to history and ...
1261343	2018-04-20...	-50377583	Русский ответ на американскую ...	93	10	17	1	4	The text discusses serious and grave topics ...
1261360	2018-04-20...	-50377583	пBloomberg: Израиль уничтожит все ...	141	13	58	1	4	The text primarily discusses geopolitical tension...
1261397	2018-04-20...	-50377583	Чем способен ответить американской ...	138	13	51	2	4	The text discusses military capabilities and ...
1261422	2018-04-20...	-50377583	Итальянская энергокомпания Eni не ...	92	4	2	3	2	The text expresses a neutral to slightly positive ...
1261438	2018-04-20...	-50377583	Нефть рвется вверх...	69	7	4	4	1	The text discusses an increase in oil prices and ...
1261451	2018-04-20...	-50377583	Асад отправил почтой императору ...	656	49	34	2	4	The text discusses actions taken by Assad regardi...
1261501	2018-04-20...	-50377583	Программа Littoral Combat Ship: ...	59	3	11	2	4	The text discusses the Littoral Combat Ship progr...

Рис. 3. Фрагмент таблицы *posts* базы данных SQLite, содержащей обработанные сообщения со страницы сообщества «Мировая политика» и результаты их сентимент-анализа

несогласие с преобладающей в информационном поле тональностью сообщений относительно обсуждаемого факта, объекта, явления или события:

$$F_a \propto \begin{cases} h_+(t)\theta[a(t)] \sum_{k=0}^n d_k a^k(t), & \text{если } v(t) < 0 \\ h_-(t)\theta[a(t)] \sum_{k=0}^n d_k a^k(t), & \text{если } v(t) \geq 0 \end{cases} \quad (14)$$

Схема проведения экспериментального исследования

Для обоснованного применения методов машинного обучения, интеллектуального анализа данных и сентимент-анализа в целях экспериментальной проверки выдвинутых гипотез требовалось обеспечить сбор 10^3 — 10^4 текстовых сообщений и комментариев к ним, публикуемых пользователями на страницах сообществ в социальных сетях. В качестве непосредственного объекта исследования была выбрана социальная сеть «ВКонтакте», доступ к которой осуществлялся посредством модуля (библиотеки) *vk* для языка программирования Python и официального API.

Всего по итогам проведения экспериментального исследования анализу подвергнуто 2246 сообщений и 50326 комментариев к ним с главной страницы сообщества «Мировая политика»⁶ с декабря 2017 по июнь 2018 года. Длина анализируемого текста для каждого сообщения или комментария ограничивалась 500 символами.

Для получения количественных оценок значений скрытых психологических переменных (валентности и эраузала) сообщений, оставляемых пользователями сообщества социальной сети на главной странице и в комментариях к публикациям, была применена технология сентимент-анализа на основе одной из наиболее эффективных мультимодальных языковых моде-

лей — GPT-4 Omni от компании OpenAI. Использование БЯМ, в отличие от наиболее распространенных методов сентимент-анализа, основанных на применении словарей, позволило учитывать контекст сообщений и такие традиционно сложные для анализа машинными методами особенности межличностной коммуникации, как ирония и сарказм. Предложенный подход также позволил отразить в количественной оценке валентности присутствующие в эмоционально окрашенных сообщениях специальные символы («смайлы»), выражающие отношение автора к обсуждаемой теме. Для оценивания валентности (положительной или отрицательной) была использована пятибалльная шкала, где оценка «-5» соответствует крайне негативному отношению пользователя, а «+5» — крайне позитивному.

Фрагмент таблицы *posts* базы данных, содержащей обработанные комментарии и результаты их сентимент-анализа, представлен на рис. 3.

Столбцы таблицы *posts* имеют следующие значения: *post_id* — уникальный идентификационный номер сообщения сообщества; *date* — дата и время публикации сообщения; *from_id* — уникальный идентификационный номер отправителя сообщения; *text* — текст сообщения, очищенный от xml и html тегов; *likes* — количество «лайков», собранных сообщением; *reposts* — количество репостов; *number_of_comments* — количество комментариев к сообщению; *pos* — количественная оценка позитивной составляющей тональности сообщения (по шкале от 1 до 5), вычисленная на основе применения БЯМ GPT-4 Omni; *neg* — количественная оценка негативной составляющей тональности сообщения (по шкале от 1 до 5); *explanation* — сгенерированное БЯМ текстовое пояснение к результатам сентимент-анализа.

Фрагмент таблицы *comments* базы данных, содержащей обработанные комментарии и результаты их сентимент-анализа, представлен на рис. 4.

Столбцы таблицы *comments* имеют следующие значения: *comment_id* — уникальный идентификационный номер комментария; *to_post_id* — уникальный идентификационный номер сообщения, к которому

⁶ URL: https://vk.com/world_policy

comment_id	to_post_id	from_user_id	date	text	likes	pos	neg	explanation
Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фи...	Фи...	Фи...	Фильтр
1320390	1320353	334162241	2018-06-10 20:01:06	[id208328721 Артур], подробнее про ...	5	1	4	The text expresses a somber and ...
1320389	1320316	484731702	2018-06-10 20:01:02	[id696822 Дмитрий], да пусть ...	0	2	5	The text expresses a clear negative...
1320386	1320353	119660675	2018-06-10 20:00:55	[id208328721 Артур], статистику ...	8	1	4	The text expresses frustration and ...
1320385	1320353	159471791	2018-06-10 20:00:31	Им надо больше учений проводить, ...	1	2	4	The text expresses a sense of ...
1320384	1320353	163471571	2018-06-10 20:00:00	[id34516363 Федор], 😊😊😊	0	5	1	The text contains positive emojis ...
1320383	1320353	34516363	2018-06-10 19:59:26	[id163471571 Ирина], я не причем, ...	1	1	4	The text contains a reference to ...
1320381	1320353	163471571	2018-06-10 19:58:17	Хочется плескаться в ладоши...	0	5	1	The phrase 'Хочется плескаться в ...
1320379	1320316	238192922	2018-06-10 19:57:44	Свой дурак куда проблемней уминого ...	6	2	4	The text expresses a sentiment that...
1320380	1320209	441199915	2018-06-10 19:57:44	[id64322708 Болеслав], ну и чего - ...	0	1	4	The text expresses frustration or ...
1320378	1320316	484731702	2018-06-10 19:57:25	[id259872739 Виталий], какой ты ...	3	2	4	The text primarily conveys a mockin...
1320376	1320316	696822	2018-06-10 19:57:21	[id259872739 Виталий], это же юмор!...	4	3	4	The text has a humorous tone at the...
1320377	1320353	163471571	2018-06-10 19:57:21	[id34516363 Федор], блеск!!!👍👍👍	0	5	1	The text expresses a strong positiv...
1320375	1320316	44573392	2018-06-10 19:55:43	Теперь Истоники придётся дружить с ...	2	2	4	The text expresses a mix of ...
1320374	1320316	153788741	2018-06-10 19:55:22	Виталий, это вроде сарказм был)	5	2	3	The text appears to imply a ...
1320373	1320353	426225431	2018-06-10 19:55:09	Как говорят янки, сопутствующие ...	0	4	2	The text conveys a somewhat ...
1320371	1320209	215421875	2018-06-10 19:53:17	[id51004419 Константин], на душу ...	0	2	2	The text expresses a neutral ...

Рис. 4. Фрагмент таблицы comments базы данных SQLite, содержащей обработанные комментарии пользователей и результаты их sentiment-анализа

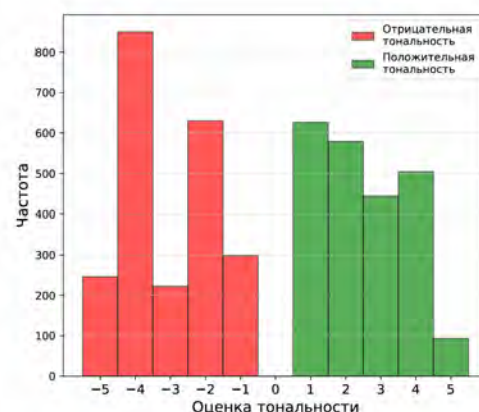
адресован комментарий; from_user_id — уникальный идентификационный номер отправителя комментария; date — дата и время публикации комментария; text — текст комментария, очищенный от xml и html тегов; likes — количество «лайков», полученных комментарием; pos — количественная оценка позитивной составляющей тональности комментария (по шкале от 1 до 5), вычисленная на основе применения БЯМ GPT-4 Omni; neg — количественная оценка негативной составляющей тональности комментария (по шкале от 1 до 5); explanation — сгенерированное БЯМ текстовое пояснение к результатам sentiment-анализа.

Необходимо особо отметить, что для каждого сообщения одновременно оценивались обе составляющие тональности сообщения: позитивная и негативная, что является отражением эллиптичности естественного языка и невозможности точно зафиксировать эмоциональное состояние как в результате внешнего наблюдения, так и в результате рефлексии (например, словосочетание «геройская смерть» несет в себе как негативную (смерть), так и позитивную (геройская) компоненты. Вне контекста практически невозможно дать точную оценку тональности данного сообщения одной переменной). Текстовые комментарии, сгенерированные БЯМ и добавленные в столбец explanation, позволяют провести контроль качества sentiment-анализа и могут служить основой для дальнейших исследований, направленных на повышение качества распознавания большими языковыми моделями эмоциональной тональности семантически сложных текстовых сообщений на русском языке.

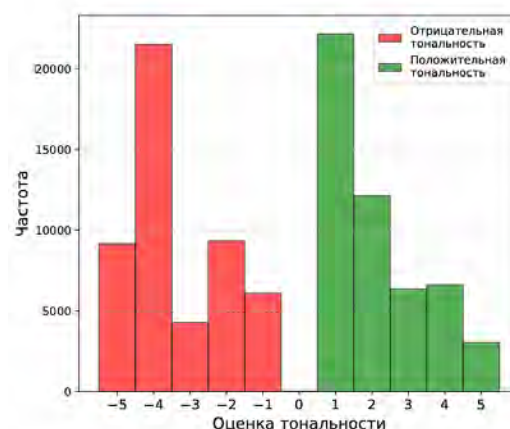
Результаты экспериментального исследования

В результате обработки полученных экспериментальных данных установлено, что в содержании сообщений и комментариев к ним преобладает отрица-

тельная тональность, что может объясняться сложной международной политической обстановкой в рассматриваемый временной период (рис. 5).



а) Гистограмма тональностей сообщений



б) Гистограмма тональностей коммент

Рис. 5. Гистограмма тональности сообщений (а) и комментариев к ним (б)

Далее для анализа корреляционных зависимостей между полученными числовыми характеристиками и обоснованного сокращения размерности признакового пространства к данным таблицы posts применен метод главных компонент (МГК). При этом осуществлена проверка на выполнение необходимых условий применения МГК: все признаки должны быть количественными, поэтому матрица исходных данных составлена из столбцов (5—9 таблицы posts); число наблюдений должно быть не менее чем в два раза больше числа переменных; выборка должна быть однородна;

исходные переменные должны быть распределены симметрично.

Для обеспечения выполнения последнего условия для данных выполнена процедура стандартизации данных (приведение к центрированным нормированным значениям) по формуле: $z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$, где $\bar{x}$ — выборочное среднее, σ — оценка среднеквадратического отклонения. Строкам матрицы исходных данных соответствовали наблюдения, столбцам — переменные. Полученная по итогам вычислений матрица коэффициентов (факторных нагрузок) представлена в табл. 1.

Таблица 1

Матрица факторных нагрузок метода главных компонент

Исходные переменные	Главные компоненты				
	1	2	3	4	5
likes	0.5803	0.3387	-0.2101	-0.1037	0.7026
reposts	0.5427	0.4008	-0.227	0.0775	-0.698
number_of_comments	0.1249	0.3573	0.9256	-0.0071	0.0003
pos	0.4301	-0.537	0.1547	0.7070	0.0542
neg	-0.41	0.5555	-0.1538	0.6953	0.1275

Столбцам матрицы факторных нагрузок соответствуют главные компоненты (в порядке значимости вклада в описываемую дисперсию), строкам — исходные переменные. Полученный базис является строго ортогональным (в чем можно убедиться путем умножения полученной матрицы нагрузок на себя же транспонированную, получив единичную матрицу) и нормированным. Полученная матрица оценок (координаты исходных наблюдений в ортогональном базисе полученных главных компонент) имеет размерность 2246×5 и не приводится в целях экономии места.

Процентный вклад главных компонент в описание суммарной дисперсии выглядит следующим образом: 1-я — 40,1%; 2-я — 34,9%, 3-я — 17,4%; 4-я — 4,18%; 5-я — 3,4%. Из анализа матрицы факторных нагрузок очевидно, что для первой главной компоненты максимальный вклад вносят исходные переменные № 1 («лайки») и № 2 («репосты»). Для второй ГК основной вклад вносят переменные № 4 (оценка позитивной тональности) и № 5 (оценка негативной тональности). Для третьей ГК наибольший по абсолютному значению вклад вносит переменная № 3 (количество комментариев). Таким образом, может быть сделан следующий вывод: первая главная компонента, которая в ходе проводимого эксперимента проявляется в количестве «лайков» и «репостов», характеризует

«побудительную силу» или «импульс» анализируемого текстового сообщения. Вторая главная компонента, в свою очередь, отвечает за эмоциональную окраску или «валентность», что полностью соответствует принятой в психологии системе координат «валентность-эраузал», в которой может быть описано любое психоэмоциональное состояние индивида — от депрессии до эйфории.

Представим наглядно полученные главные компоненты и исходные переменные в новом базисе (рис. 6). Стрелками на рис. 6 показаны исходные 5 параметров («лайки», «репосты», комментарии, позитивная и негативная оценки тональности соответственно) в новом ортонормированном базисе 3-х главных компонент. Каждая отдельная точка представляет публикацию на стене сообщества. Хорошо заметно, что исходные признаки («лайки» и «репосты») сильно коррелированы и являются проявлением одного и того же скрытого фактора — «побудительной силы» или «импульса» сообщения.

Трехмерная гистограмма, отображающая количественное соотношение пар полученных экспериментальным путем оценок «эмоциональных» и «энергетических» параметров для 50326 комментариев акторов сообщества «Мировая политика» социальной сети «ВКонтакте», представлена на рис. 7.

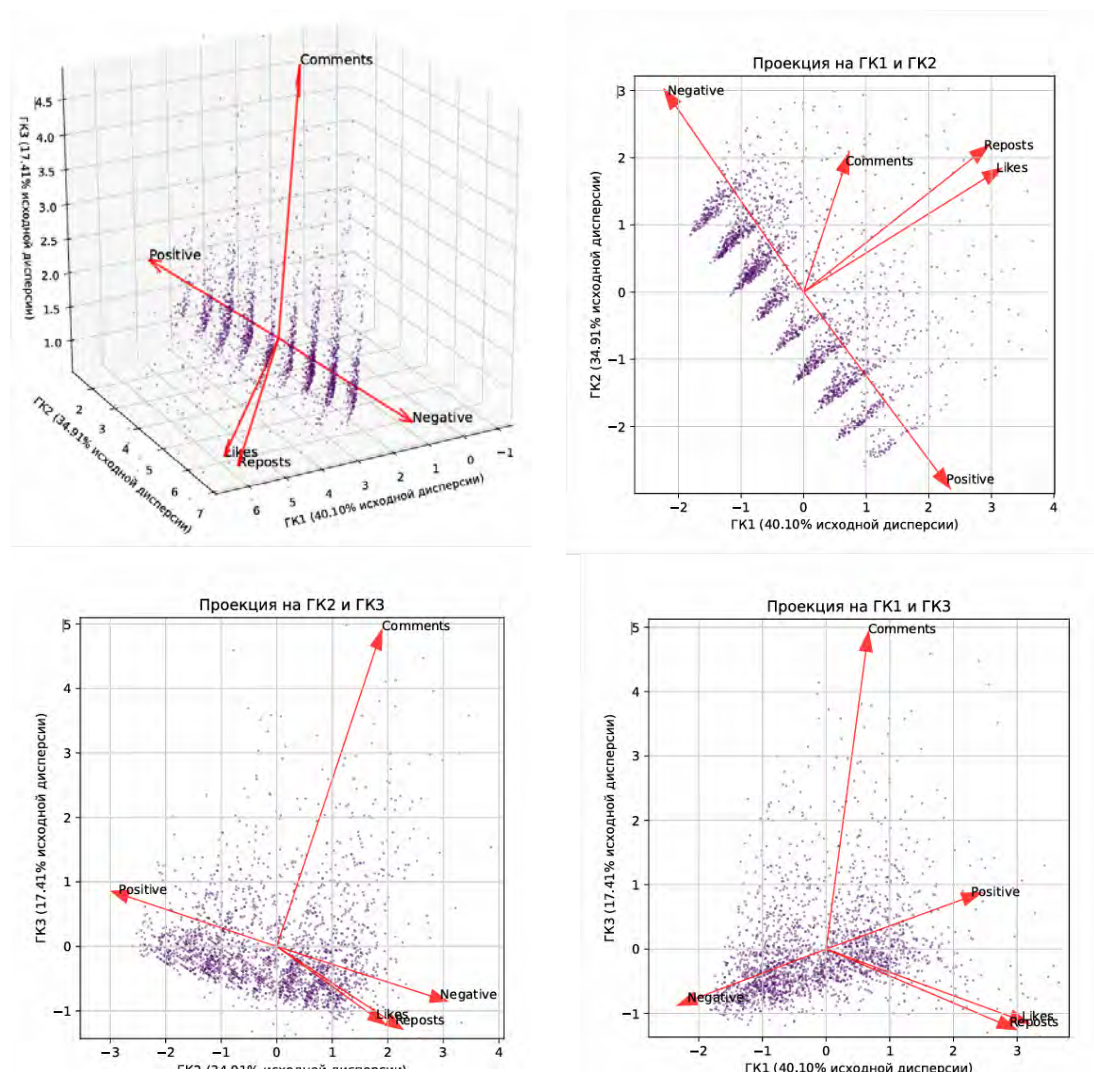


Рис. 6. Исходные переменные в новом ортогональном базисе главных компонент

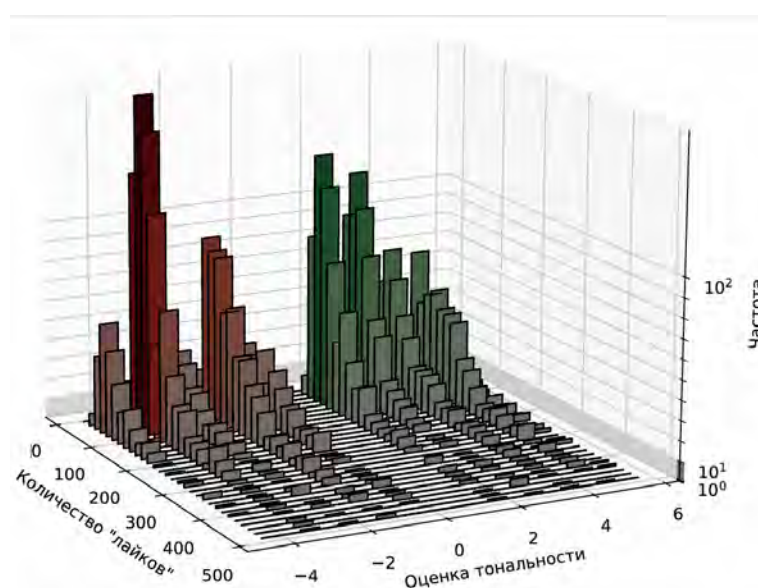


Рис. 7. Количественное соотношение пар полученных экспериментальным путем оценок «эмоциональных» и «энергетических» параметров для 2246 постов социальной сети

Обсуждение полученных результатов

Визуализация результатов экспериментального исследования продемонстрировала расслоение анализируемых текстовых сообщений как по тональности (эмоциональной окраске) (главная компонента № 2), так и по «побудительной силе» (главная компонента № 1). Важным свойством наблюдаемого расслоения и кластеризации является наличие «интерференционной картины», образованной взаимным усилением и ослаблением когнитивных эмоциональных состояний акторов сети.

Продemonстрированные на рис. 6 и 7 распределения соотносятся с результатами, известными в квантовой оптике. В результате непрямого взаимодействия и при условии наличия сильного информационного поля, формирующего контекст восприятия, пользователи социальных сетей склонны игнорировать нейтрально окрашенные сообщения. Такие сообщения не вызывают соответствующего эмоционального отклика (не поглощаются средой) и не побуждают акторов к публикации собственных сообщений (не порождают вторичного излучения). Вместе с тем в работе [18] рассматривается явление электромагнитно-индуцированной прозрачности, при котором квантовая интерференция появляется вследствие воздействия на два верхних уровня трехуровневой атомной системы сильным когерентным полем. Среда становится прозрачной при воздействии сильного когерентного поля, то есть поглощение почти отсутствует там, где показатель преломления равен единице. В рассматриваемой аналогии, при воздействии сильного «когерентного» информационного поля с околонулевой эмоциональной окраской поглощение и испускание «квантов» эмоционально окрашенных сообщений акторами прекращается, информационная среда становится «прозрачной».

Таким образом, в проведенном нами экспериментальном исследовании информационное поле (размещаемые на странице социальной сети новости на тему мировой политики) воздействует на акторов социальной сети, изначально находящихся в различных эмоциональных состояниях, характеризующихся квантовоподобной суперпозицией мнений. Эмоциональные состояния пользователей в рамках проведенного эксперимента могут быть рассмотрены в качестве аналогов квантовых состояний, причем валентность соотносится с координатой, а эраузал (энергетическая психологическая переменная) — с импульсом частицы. С квантовой точки зрения две данные переменные линейно независимы, то же самое справедливо для полученного ортогонального базиса главных компонент.

Взаимодействие акторов посредством публикации комментариев и непрямого обмена эмоциями приводит к взаимному усилению или ослаблению восприимчивости к эмоционально окрашенным сообщениям в определенных диапазонах тональности, что непосредственно

может быть соотнесено с наблюдаемой интерференционной картиной в пространстве главных компонент и может быть источником усиления или ослабления (на более глобальном уровне) распространения информации в сети Интернет.

Данные исследования могут иметь большой практический интерес в связи с концепцией так называемого социального лазера, заключающейся в усилении информации в социальных сетях благодаря эффектам информационной накачки. Данные исследования требуют проведения дополнительных исследований по распространению информации в сложных сетевых структурах.

Выводы

В работе представлена модель, которая позволяет формировать проверяемые гипотезы относительно условий, при которых возникают и протекают процессы коллективного проявления эмоций в сети. В качестве отправной точки для разработки модели использованы результаты, полученные в области психологии, в частности, метод описания состояний психики испытуемого в системе координат, задаваемой двумя психологическими переменными: валентностью и эраузалом.

Второй важной составной частью проведенного исследования является формальное описание обмена эмоциями между агентами. Моделирование процесса эмоциональной коммуникации имеет большую значимость для задач исследования онлайн-сообществ, в которых агенты не общаются лично, а опосредованно взаимодействуют путем размещения сообщений в блогах, на форумах и т. д. При этом в процессе коммуникации могут возникать временные задержки, а сам электронный ресурс посредством модерирования сообщений может выступать в качестве активного участника коммуникации.

Информация, размещаемая на ресурсе агентами, в основном имеет вид текстовых сообщений и становится доступной для всех членов сообщества одновременно сразу же после опубликования на ресурсе. Следовательно, ресурс обеспечивает между всеми агентами информационное взаимодействие, весьма сходное с взаимодействием, которое обеспечивается самосогласующимся (средним) полем. Для учета эффекта взаимодействия агентов в информационной среде введено понятие поля коммуникации.

Формально описав динамику информационных процессов, происходящих в данном поле, также анализируем децентрализованную генерацию в различные моменты времени сообщений, имеющих различную эмоциональную окраску (как позитивную, так и негативную), «старение» эмоциональной информации (снижение эффекта воздействия эмоционально значимой информации с течением времени), распределение информации между агентами, для которого также могут быть применены допущения, относящиеся к другим (не самосогласующимся) типам полей.

Третьей особенностью разработанной модели является учет зависимости воздействия эмоционально окрашенной информации на агентов от их собственного эмоционального состояния. Сформулирована и обоснована гипотеза о наличии нелинейной обратной связи между количеством доступной информации и индивидуальным состоянием агента, описываемым парой психологических переменных — валентностью и эраузалом. Данный подход позволяет выдвигать различные экспериментально проверяемые гипотезы касательно результирующего воздействия на агента.

Разработанный формальный математический аппарат позволяет не только описывать, но и прогнозировать динамику развития коллективных эмоций в сетевых сообществах.

К достоинствам разработанной модели относится возможность применения к полученным аналитическим выражениям известного математического аппарата теории идентификации и технической диагностики для оценивания интервалов параметров модели, при которых в сетевых сообществах возникает эффект коллективных эмоций. В частности, в рамках разработанной аналитической модели могут быть описаны условия для возникновения поляризованного эмоционального фона с бимодальным законом распределения или сценариев, при которых агенты выражают свои эмоции либо единообразно (например, отзыв на товар или услугу), либо неоднократно (например, во время дискуссии на форумах).

Полученные аналитическим путем теоретические закономерности в дальнейшем могут быть скорректированы с учетом полученных эмпирических данных в ходе параметрической идентификации.

Таким образом, разработанная модель многоагентного броуновского информационного взаимодействия между субъектами коммуникации в сетевых сообществах позволяет формально описывать и прогнозировать динамику развития коллективных эмоций, а также объединить результаты экспериментальных исследований по регистрации психофизиологической реакции испытуемых на эмоционально значимую информацию с закономерностями, полученными в ходе анализа больших массивов эмоционально окрашенных сообщений пользователей информационных сетей, и определить параметры модели для различных сценариев

развития ситуации. Полученные результаты позволяют повысить наблюдаемость информационной среды и достоверность моделирования прогноза ее состояния к заданному моменту времени в будущем.

Кроме того, в работе представлены результаты оригинального экспериментального исследования по проверке гипотезы о квантовоподобных свойствах процессов непрямого распространения информации в социальных сетях с учетом когнитивных процессов их акторов.

Эксперимент «пассивного» типа выполнен посредством ретроспективного анализа текстовых сообщений и комментариев пользователей на странице сообщества «Мировая политика» социальной сети «ВКонтакте». В выборку включены более 2000 публикаций и более 50000 комментариев пользователей. Для автоматизированной оценки тональности текстовых сообщений использован авторский программный модуль на основе большой языковой модели.

По итогам проведенного эксперимента может быть сделан вывод о квантовоподобном (волновом) характере распространении информации в социальных сетях. Он непосредственно связан с наблюдаемой интерференционной картиной в пространстве параметров, описывающих эмоциональные состояния акторов сети. При этом валентность соотнесена с координатой, а «побуждающая сила», выраженная в количестве «лайков» и «репостов» — с импульсом частицы. С квантовой точки зрения, две данные переменные линейно независимы, то же справедливо для полученной ортогональной системы координат в базисе вычисленных главных компонент.

Для удобства последующего анализа, обеспечения воспроизводимости полученных результатов эксперимента и возможного применения собранных исходных данных в последующих исследовательских проектах данные и результаты их первичной обработки сохранены в базе данных формата SQLite, доступной для исследователей⁷ на правах лицензии Apache 2.0.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-11-20034).

⁷greeny598/vk_social_network_sentiment Datasets at Hugging Face.
URL: https://huggingface.co/datasets/greeny598/vk_social_network_sentiment (дата обращения: 12.01.2025).

Литература

1. Ахременко А.С., Стукал Д.К., Петров А.П. Сеть или текст? Факторы распространения протеста в социальных медиа: теория и анализ данных // Полис. Политические исследования. 2020. С. 73—91. DOI: 10.17976/jpps/2020.02.06 .
2. Давыдова М.А. Протестная активность и акторы политической мобилизации в социальных медиа Республики Казахстан в январе 2022 года // Среднерусский вестник общественных наук. 2024. № 4. С. 141—159. DOI: 10.22394/2071-2367-2024-19-4-141-159 .
3. Малькевич А.А. Роль социальных сетей в протестном политическом участии граждан. // Управленческое консультирование. 2020. № 1. С. 35—42. DOI: 10.22394/1726-1139-2020-1-35-42 .

4. McLoughlin K.L. et al. Misinformation exploits outrage to spread online. *Science*. 2024. Vol. 386. № 6725. P. 991–996. DOI: 10.1126/science.adl2829 .
5. Rajkumar K. et al. A causal test of the strength of weak ties. *Science*. 2022. Vol. 377. № 6612. P. 1304–1310. DOI: 10.1126/science.abl4476 .
6. Wang D., Uzzi B. Weak ties, failed tries, and success. *Science*. 2022. Vol. 377. № 6612. P. 1256–1258. DOI: 10.1126/science.add0692 .
7. Mohammad S.M. Sentiment analysis: Automatically detecting valence, emotions, and other affectual states from text. *Emotion measurement*: Elsevier, 2021. P. 323–379. DOI: 10.1016/B978-0-12-821124-3.00011-9 .
8. Khrennikov A. On Applicability of Quantum Formalism to Model Decision Making: Can Cognitive Signaling Be Compatible with Quantum Theory? *Entropy*. 2022. Vol. 24. № 11. P. 1592. DOI: 10.3390/e24111592 .
9. Khrennikov A.Y. Open quantum systems in biology, cognitive and social sciences. *Springer Nature*, 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-29024-4 .
10. *Consciousness and Quantum Mechanics*. Ed. by S. Gao. Oxford, New York: Oxford University Press, 2022. 536 pp.
11. Гнидко К.О., Ломако А.Г. Оценивание уровня контаминации сознания в ультраметрическом пространстве состояний р-адической модели поведения субъекта // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2016. № 9 (59). С. 729—734. DOI: 10.15622/SP.44.5 .
12. Wei X., Gong H., Song L. Product diffusion in dynamic online social networks: A multi-agent simulation based on gravity theory. *Expert Systems with Applications*. 2023. Vol. 213. P. 119008. DOI: 10.1016/j.eswa.2022.119008 .
13. Treur J., Ments L.V. Mental Models and Their Dynamics, Adaptation, and Control: A Self-Modeling Network Modeling Approach. *Springer Nature*, 2022. 616 pp. DOI: 10.1007/978-3-030-85821-6 .
14. Liu P., Li Y., Wang P. Opinion dynamics and minimum adjustment-driven consensus model for multi-criteria large-scale group decision making under a novel social trust propagation mechanism. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2022. Vol. 31. № 1. P. 307–321. DOI: 10.1109/TFUZZ.2022.3186172 .
15. Ishii A., Okano N. Sociophysics approach of simulation of mass media effects in society using new opinion dynamics. *Intelligent Systems and Applications: Proceedings of the 2020 Intelligent Systems Conference (IntelliSys)*. Vol. 3. Springer, 2021. P. 13–28. DOI: 10.1007/978-3-030-55190-2_2 .
16. Metzler H. et al. Collective emotions during the COVID-19 outbreak. *Emotion*. 2023. Vol. 23. № 3. P. 844–858. DOI: 10.1037/emo0001111 .
17. Paletz S.B. et al. Emotional content and sharing on Facebook: A theory cage match. *Science Advances*. 2023. Vol. 9. № 39. P. eade9231. DOI: 10.1126/sciadv.ade9231 .
18. Zhu L., Dong L. Electromagnetically induced transparency metamaterials: theories, designs and applications. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2022. Vol. 55. № 26. P. 263003. DOI: 10.1088/1361-6463/ac60cc .

SECTION:

INFORMATION AND AUTOMATED SYSTEMS AND NETWORKS

QUANTUM-LIKE PHENOMENA IN THE PROPAGATION OF COLLECTIVE EMOTIONS IN SOCIAL NETWORKS: MODEL, DATASET, AND EXPERIMENTAL RESEARCH RESULTS

Konstantin Gnidko, Dr.Sc. (Technology), Associate Professor, Deputy Head of Group at the Research Centre for Information Technology and Artificial Intelligence of the Autonomous Non-Profit Educational Organisation of Higher Education “Universitet Sirius” (Sirius University), Sirius Federal Territory, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-8605-8865.

E-mail: gnidko.ko@talantiuspeh.ru

Dmitrii Lisov, Junior Researcher at the Research Centre for Information Technology and Artificial Intelligence of the Autonomous Non-Profit Educational Organisation of Higher Education “Universitet Sirius” (Sirius University), Sirius Federal Territory, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-8214-4109.

E-mail: lisov.dn@talantiuspeh.ru

Keywords: mathematical modelling, information security, social networks, sentiment analysis, collective emotions, Brownian interaction, large language models, interference.

Abstract

Purpose of the study: development of a mathematical model for the propagation of collective emotions in social networks; experimental validation of the hypothesis regarding the emergence of quantum-like phenomena in multi-agent interactions among mass communication actors mediated by an informational field.

Methods used in the study: sentiment analysis of textual messages using a large language model; dimensionality reduction of the feature space based on the principal component analysis (PCA) method; statistical processing and data visualization.

Study findings: an interdisciplinary mathematical model for the spread of collective emotions in social networks has been developed, based on the concept of Brownian agent interaction. The model accounts for the emotional states of communication subjects through psychological variables, valence and arousal, enabling the simulation of emotional dynamics at both individual and collective levels. To experimentally test the hypothesis of quantum-like phenomena, 2,246 posts and 50,326 comments from the "World Politics" community on the VKontakte social network (December 2017 to June 2018) were analyzed. The experimental results demonstrated that agent interactions through the informational field lead to amplification or suppression of communicative activity, manifesting in a distribution of emotional parameters resembling an interference pattern. A correlation was established between the "motivational force" of messages (likes, reposts) and their emotional tone (valence), confirming the presence of quantum-like effects such as interference and superposition.

Research novelty: the proposed model of collective emotional dynamics in social networks is interdisciplinary and incorporates contemporary findings in psychology and sociology, distinguishing it from traditional approaches that neglect nonlinear effects arising from the subjective characteristics of communication participants. For the first time, the concept of an "informational field" is introduced as a medium mediating interactions among mass communication agents, allowing for the description of observed quantum-like phenomena, such as the interference of emotional states in mass communication subjects. The author's contribution includes the development of an original dataset (emotionally charged textual posts and user comments from a social network), made publicly available to ensure reproducibility and facilitate future research. Unlike previous studies relying on specialized sentiment dictionaries, the authors employed a large language model-based algorithm for quantitative sentiment analysis, improving accuracy in accounting for context, complex linguistic structures, irony, and sarcasm.

References

1. Akhremenko A.S., Stukal D.K., Petrov A.P. Set' ili tekst? Faktory rasprostraneniia protesta v sotsial'nykh media: teoriia i analiz dannykh. Polis. Politicheskie issledovaniia. 2020. Pp. 73–91. DOI: 10.17976/jpps/2020.02.06 .
2. Davydova M.A. Protestnaia aktivnost' i aktory politicheskoi mobilizatsii v sotsial'nykh media Respubliki Kazakhstan v ianvare 2022 goda. Srednerusskii vestnik obshchestvennykh nauk. 2024. No. 4. Pp. 141–159. DOI: 10.22394/2071-2367-2024-19-4-141-159 .
3. Mal'kevich A.A. Rol' sotsial'nykh setei v protestnom politicheskom uchastii grazhdan. Upravlencheskoe konsul'tirovanie. 2020. No. 1. Pp. 35–42. DOI: 10.22394/1726-1139-2020-1-35-42 .
4. McLoughlin K.L. et al. Misinformation exploits outrage to spread online. Science. 2024. Vol. 386. № 6725. P. 991–996. DOI: 10.1126/science.adl2829 .
5. Rajkumar K. et al. A causal test of the strength of weak ties. Science. 2022. Vol. 377. № 6612. P. 1304–1310. DOI: 10.1126/science.abl4476 .
6. Wang D., Uzzi B. Weak ties, failed tries, and success. Science. 2022. Vol. 377. № 6612. P. 1256–1258. DOI: 10.1126/science.add0692 .
7. Mohammad S.M. Sentiment analysis: Automatically detecting valence, emotions, and other affectual states from text. Emotion measurement: Elsevier, 2021. P. 323–379. DOI: 10.1016/B978-0-12-821124-3.00011-9 .
8. Khrennikov A. On Applicability of Quantum Formalism to Model Decision Making: Can Cognitive Signaling Be Compatible with Quantum Theory? Entropy. 2022. Vol. 24. № 11. P. 1592. DOI: 10.3390/e24111592 .
9. Khrennikov A.Y. Open quantum systems in biology, cognitive and social sciences. Springer Nature, 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-29024-4 .
10. Consciousness and Quantum Mechanics. Ed. by S. Gao. Oxford, New York: Oxford University Press, 2022. 536 pp.
11. Gnidko K.O., Lomako A.G. Otsenivanie urovnia kontaminatsii soznaniia v ul'trametricheskom prostranstve sostoianii p-adicheskoi modeli povedeniia sub'ekta. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie. 2016. No. 9 (59). Pp. 729–734. DOI: 10.15622/SP.44.5 .
12. Wei X., Gong H., Song L. Product diffusion in dynamic online social networks: A multi-agent simulation based on gravity theory. Expert Systems with Applications. 2023. Vol. 213. P. 119008. DOI: 10.1016/j.eswa.2022.119008 .
13. Treur J., Ments L.V. Mental Models and Their Dynamics, Adaptation, and Control: A Self-Modeling Network Modeling Approach. Springer Nature, 2022. 616 pp. DOI: 10.1007/978-3-030-85821-6 .
14. Liu P., Li Y., Wang P. Opinion dynamics and minimum adjustment-driven consensus model for multi-criteria large-scale group decision making under a novel social trust propagation mechanism. IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2022. Vol. 31. № 1. P. 307–321. DOI: 10.1109/TFUZZ.2022.3186172 .

15. Ishii A., Okano N. Sociophysics approach of simulation of mass media effects in society using new opinion dynamics. Intelligent Systems and Applications: Proceedings of the 2020 Intelligent Systems Conference (IntelliSys). Vol. 3. Springer, 2021. P. 13–28. DOI: 10.1007/978-3-030-55190-2_2 .
16. Metzler H. et al. Collective emotions during the COVID-19 outbreak. Emotion. 2023. Vol. 23. № 3. P. 844–858. DOI: 10.1037/emo0001111 .
17. Paletz S.B. et al. Emotional content and sharing on Facebook: A theory cage match. Science Advances. 2023. Vol. 9. № 39. P. eade9231. DOI: 10.1126/sciadv.ade9231 .
18. Zhu L., Dong L. Electromagnetically induced transparency metamaterials: theories, designs and applications. Journal of Physics D: Applied Physics. 2022. Vol. 55. № 26. P. 263003. DOI: 10.1088/1361-6463/ac60cc .