На правах рукописи

Прончева Ольга Геннадьевна

Математическое моделирование информационного нападения и информационного противоборства в структурированном социуме

05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном учреждении "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук".

Научный руководитель:	**Петров Александр Пхоун Чжо** д. ф.-м. н., ведущий научный сотрудник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
Официальные оппоненты:	**Попов Виктор Юрьевич** д. ф.-м. н., профессор, профессор Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
	Чхартишвили Александр Гедеванович д. ф.-м. н., главный научный сотрудник ИПУ РАН
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)

Защита состоится 24 мая 2018 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета Д 002.024.03 при ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, расположенном по адресу: 125047, Москва, Миусская пл., д.4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН и на сайте http://keldysh.ru/.

Автореферат разослан «____» ____________ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к. ф.-м. н. Корнилина М.А.

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. В настоящее время роль информационной среды выходит на первый план, а потому национальная безопасность любого государства, в том числе и России, всё больше зависит от информационной безопасности. Для успешного отражения информационных угроз необходимо понимание механизмов информационных процессов. Таким образом, актуальна разработка математических моделей, алгоритмов и методов, позволяющих изучать особенности информационного противоборства и определять способы противодействия информационным угрозам.

Степень разработанности темы исследования. Первые математические модели распространения одного слуха были предложены довольно давно [28, 29]. В самых общих чертах, в этих моделях предполагается, что в каждый момент времени некоторые индивиды из числа образующих социальную группу обладают определенной информацией и передают ее другим индивидам. Тем самым, происходит распространение этой информации.

Механика модели Daley-Kendall [28] выглядит следующим образом. В каждый момент времени, каждый член социума относится к одному из трех классов: игноранты, спредеры, стифлеры. Игноранты еще не знакомы со слухом, спредеры знают слух и распространяют его, стифлеры знают, но не распространяют. Изначально один член социума является спредером, все остальные – игнорантами. Переходы индивидов из одного класса в другой происходят в трех случаях: если игнорант встречается со спредером, то он тоже становится спредером, если встречаются два спредера, то оба они становятся стифлерами, если спредер встретил стифлера, то он тоже становится стифлером. Отличие предпосылок модели Maki-Thompson [29] состоит в том, что при взаимодействии двух спредеров только один из них превращается в стифлера (а второй остается спредером), т.е. стифлинг-эффект носит более ограниченный характер.

Укажем некоторые другие направления в данной области. Изучению процессов распространения информации в социальных сетях посвящены многочисленные работы - в качестве примера можно указать [30]. Довольно редкий пример моделирования распространения слухов с опорой на конкретный социальный механизм представляет статья [31]. В ней построена модель распространения информации, акцентированная на механизме «узнал на работе – рассказал в семье, узнал в семье – рассказал на работе».

Модели конкурирующих слухов известны гораздо меньше, хотя появились также довольно давно. В качестве одной из последних работ по моделированию информационного противоборства можно отметить [32] (книга вышла в 2017 году), где представлены модели информационного противоборства с целью описания активных социальных структур.

Предлагаемые модели от описанных выше отличаются идеями построения и предпоссылками, а также рассмотрением влияния пропаганды на динамику информационных процессов.

Цели и задачи диссертационной работы. Целью работы является создание математических моделей, алгоритмов и методов проведения на их основе исследований, обеспечивающих разработку способов отражения информационных угроз и ведения информационного противоборства.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: построение математических моделей; исследование моделей аналитическими и численными методами; содержательная трактовка результатов.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость состоит в развитии базовых моделей информационного противоборства. Разработанные методы и инструменты изучения математичсеких моделей могут быть использованы для анализа информационных противоборств в обществе.

Научная новизна. Новизна заключается в том, что впервые построен ряд сценариев информационного противоборства в структурированном социуме, в том числе, изучено противоборство в поляризированном обществе. Кроме того, впервые построена и изучена модель "Власть-Информация-Общество", описывающая процесс информационного противоборства и динамику распределения власти в совокупности. Впервые построена модель спада интереса к прошедшему разовому политическому событию, удовлетворяющая эмпирическим данным.

Новым является метод, комбинирующий асимптотическое разложение по малому параметру с периодическим переключением между интервалами непрерывной правой части. Новой является методика, позволяющая управлять расчётом и на основе теоремы Тихонова о предельном переходе делать выводы о правомерности окончания расчёта. Новым является программный комплекс в среде MatLab, позволяющий проводить все численные эксперименты.

Методология и методы исследования. Объектом исследования являются модели информационного противоборства в структурированном социуме. Предметом исследования является зависимость хода противоборства и его конечного результата от параметров системы. Были использованы следующие методы: метод малого параметра; исследование фазовой плоскости; численные методы решения алгебраических, дифференциальных, интегро-дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных. Разработка программного обеспечения проводилась в среде MatLab.

Положения, выносимые на защиту

1. Развиты приближенные аналитические методы исследования, учитывающие специфику математических моделей информационного нападения и информационного противоборства в структурированном социуме. В частности, для класса моделей с периодическим внешним воздействием разработан метод, комбинирующий асимптотическое разложение по малому параметру с периодическим переключением между интервалами непрерывности правой части. С помощью разработанных методов изучены свойства моделей, позволяющие сделать содержательные выводы относительно изучаемых процессов. Показано, в частности, что преимущество одной из сторон в пропаганде несущественно при

сильной поляризации общества.

2. Для моделей социальных процессов с разномасштабной динамикой, имеющих вид систем с малыми параметрами, содержащих параболические уравнения, на основе теоремы Тихонова разработана методика, позволяющая определить, произошла ли стабилизация решения к стационарному состоянию. Также адаптирована система разностных уравнений с тем, чтобы соответствовать модели "Власть-Информация-Общество".

3. Разработан программный комплекс в среде MatLab, реализующий указанную выше методику и позволяющий определять момент окончания расчёта для моделей социальных процессов с малым параметром и разномасштабной динамикой путем сравнения решения динамической системы с предельным решением, определяемым на основе теоремы Тихонова.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов обосновывается сопоставлением результатов, полученных аналитическими и численными методами и сравнением теоретических результатов с эмпирическими данными.

Основные результаты диссертации докладывались на следующих конференциях: XX Международный междисциплинарный ежегодный научный семинар «Математическое моделирование и информатика социальных процессов» имени Героя Социалистического труда академика А.А. Самарского, посвященный 70-летию основателя семинара проф. А.П. Михайлова; XVII Всероссийская Конференция-школа молодых исследователей "Современные проблемы математического моделирования"; Международная (48-я Всероссийская) молодежная школа-конференция «Современные проблемы математики и ее приложений»; II Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Проблемы моделирования социальных процессов: Россия и страны АТР»; Международная научно-практическая конференция «Теория Активных Систем» (ТАС-2016); AINL FRUCT: Artificial Intelligence and Natural Language Conference; XIX Международный междисциплинарный ежегодный научный семинар «Математическое моделирование и информатика социальных процессов» им. Героя Социалистического труда академика А.А. Самарского; Международная научная конференция "Современные проблемы математической физики и вычислительной математики посвященная 110-летию академика А.Н. Тихонова, Москва, МГУ, 31 октября – 3 ноября 2016 года; Всероссийская научно-практическая конференция «Научное и кадровое обеспечение системы распределенных ситуационных центров как ключевого фактора повышения эффективности государственного управления»; VIII Московская международная конференция по Исследованию Операций (ORM2016), Москва, 17-22 октября 2016; Научный сервис в сети Интернет 2016; The 10th Russian Summer School in Information Retrieval (RuSSIR 2016); XIV Международный семинар «Математические модели и моделирование в лазерно-плазменных процессах и передовых научных технологиях»; Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2016»; Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы моделирования социальных процессов: Россия и страны АТР» (ДВФУ, Владивосток); Artificial Intelligence and Natural Language and Information Extraction, Social Media and Web Search FRUCT Conference (AINL-ISMW FRUCT); XVIII Международный междисциплинарный ежегодный научный семинар «Математическое моделирование и информатика социальных процессов» им. Героя Социалистического труда академика А.А. Самарского; XXII Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов-2015"; XVII Международный междисциплинарный ежегодный научный семинар «Математическое моделирование и информатика социальных процессов» им. Героя Социалистического труда академика А.А. Самарского.

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 27 печатных работах, из них 8 статей в рецензируемых журналах [1–8], в том числе 7 статей в журналах из списка ВАК [1–7], 11 статей в сборниках трудов конференций [9–19] и 8 тезисов докладов [20–27]. Вклад автора в совместные работы заключался в развитии аналитических методов [3, 4], проведении аналитических расчётов

[1, 3–5, 8, 10–12, 15–17], написании программного кода [1, 3–5, 8, 10–12, 14–17, 19] и проведении численных экспериментов [1, 3–5, 8, 10–12, 14–17, 19].

Личный вклад автора. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад диссертанта был определяющим. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором. Постановка задачи и обсуждение результатов происходила совместно с научным руководителем.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, библиографии и приложения. Общий объем диссертации 117 страниц, из них 103 страницы текста, включая 43 рисунка. Библиография включает 80 наименований на 10 страницах. Приложение состоит из 4 страниц.

Благодарности. Хочу выразить глубокую признательность д.ф. - м.н., проф. А.П. Михайлову и моему научному руководителю д.ф.-м.н. А.П. Петрову за доброжелательное отношение, ценные обсуждения и помощь в работе.

Я также благодарна организациям, поддержавшим исследования: Российскому Фонду Фундаментальных Исследований (гранты № 13-01-00392 а, 15 - 01 - 06192 а, 16-01-00306 а, 17-01-00390 а, 18-31-00173 а, 18-01-00551 а) и Российскому Гуманитарному Научному Фонду (грант № 15-03-00435 а).

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

Первая глава

Рассмотрена совокупность моделей информационного нападения и информационного противоборства в социуме, учитывающих как передачу информации при межличностной коммуникации, так и пропаганду через СМИ. Процесс противоборства заключается в том, что в социуме распространяются два потока информации так, что каждый индивид может стать адептом либо одной, либо другой стороны (в зависимости от того, какую информацию он получил первой); при этом в системе присутствуют два противоборствующих СМИ, и информация каждого из двух потоков может распространяться через слухи. Адепт распространяет информацию своей «партии», и является невосприимчивым к информации противоположной стороны. Победителем противоборства считается сторона, имеющая большее количество адептов к определенному моменту времени (например, при t, стремящемся к бесконечности).

Базовая модель информационного противоборства [33] имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= (\alpha_1 + \beta_1 X)\,(N_0 - X - Y)\,, X\,(0) = 0, \\ \frac{dY}{dt} &= (\alpha_2 + \beta_2 Y)\,(N_0 - X - Y)\,, Y\,(0) = 0. \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь:

X, Y - число сторонников первого и второго информационного источника соответственно;

α_i, β_i - параметры, характеризующие интенсивность распространения информации через СМИ и межличностную коммуникацию соответственно для i-го информационного источника, $i = 1, 2$; в базовой модели эти параметры предполагаются постоянными;

N_0 - численность социума.

На основе базовой модели автором построена математическая модель информационного противоборства в социуме, учитывающая такие факторы, как неполный охват социума СМИ, забывание информации и двухшаговое усвоение информации. Данная модель имеет вид задачи Коши для нелинейной системы из восьми обыкновенных дифференциальных уравнений, полученная из (1) с помощью введения новых функций и модификацией правой части (подробнее см. главу 1 Диссертации и [1, 11, 12, 14]). Проведены серии вычислительных экспериментов, при этом наибольшее внимание уделялось случаю, когда одна из сторон имеет более интенсивно работающее СМИ, но информация другой стороны более интенсивно распространяется при межличностной коммуникации (т.е. в системе присутствуют два больших параметра, имеющие один порядок). Получено, что в этом случае результат имеет следующий вид. В той части социума, которая получает информацию как через СМИ, так и при межличностной коммуникации, с течением времени устанавливается стационарное соотношение между численностями адептов той и другой стороны, причем эти численности имеют один порядок (при пропорциональном устремлении вышеуказанных больших параметров к бесконечности). В то же время, в той части социума, которая получает информацию лишь при межличностной коммуникации, устанавливается стационарное соотношение, при котором численность адептов второй группы намного больше численности адептов первой группы.

Исследовано информационное противоборство при дестабилизирующем воздействии. Параметр, характеризующий интенсивность распространения информации первой партии через СМИ, имеет вид кусочно-постоянной периодической функции времени:

$$\alpha_1(t) = \begin{cases} \alpha_1^*, & \mathrm{t} \in [iT; iT + t_{sw}], \\ \alpha_1^* + h, & \mathrm{t} \in [iT + t_{sw}; iT + T]; \end{cases} \quad i \in 0 \cup \mathbb{N}. \tag{2}$$

Здесь $T > 0$ – период, t_{sw} - продолжительность дестабилизирующего воздействия в течение каждого периода.

В случае, когда не учитывается забывание информации, эксперименты показывают, что при увеличении интенсивности распространения информации через межличностную коммуникацию колебания кривой графика числа адептов партии с дестабилизирующим воздействием вокруг ее основного тренда становятся менее резкими. Содержательная причина состоит в том, что возрастание интенсивности распространения информации через межличностную коммуникацию приводит к тому, что большее количество индивидов получает информацию путем межличностной коммуникации, и меньшее – от СМИ; тем самым, колебания интенсивности вещания СМИ играют меньшую роль.

Найдено асимптотическое решение системы (1),(2) в первом приближении по малому параметру β (предполагается, что в системе (1) $\beta_1 = \beta_2 = \beta$). Рассмотрим методику нахождения асимптотики.

Сделаем предварительную замену переменных

$$X = -u + \alpha_1^* v, Y = u + \alpha_2 v \tag{3}$$

В результате замены (3) система (1),(2) примет вид

$$\begin{aligned}
&\frac{du}{dt} = \frac{1}{\alpha_1^* + \alpha_2} \left(\alpha_2 \alpha_1^* - \alpha_1 (t) \alpha_2 + \beta (\alpha_1^* + \alpha_2) u\right) \left(N_0 - (\alpha_1^* + \alpha_2) v\right);\\
&\frac{dv}{dt} = \frac{1}{\alpha_1^* + \alpha_2} \left(\alpha_1 (t) + \alpha_2 + \beta (\alpha_1^* + \alpha_2) v\right) \left(N_0 - (\alpha_1^* + \alpha_2) v\right);\\
&u (0) = u^0, v (0) = v^0,
\end{aligned} \tag{4}$$

где $u^0 = \left(-\alpha_2 X^0 + \alpha_1^* Y^0\right) / (\alpha_1^* + \alpha_2)$, $v^0 = \left(X^0 + Y^0\right) / (\alpha_1^* + \alpha_2)$, α_1 - функция от t, α_2, α_1^* и β - постоянные. Будем искать решение системы (4) в виде асимптотики

$$\begin{aligned}
u (t) &= u_0 (t) + \beta u_1 (t) + o (\beta);\\
v (t) &= v_0 (t) + \beta v_1 (t) + o (\beta).
\end{aligned} \tag{5}$$

Для нахождения нулевого и первого приближения решаются уравнения, полученные после подстановки (5) в систему (4) и приравнивая соответствующих коэффициентов при β. При этом разработан подход, позволяющий решать уравнения с разрывной кусочно-постоянной правой частью.

Суть применяемого подхода состоит в следующем. Поскольку функция $\alpha_i(t)$ является кусочно-постоянной (см. формулу (2)) , то отдельно рассматриваются промежутки $[kT; kT+t_{sw})$ и $[kT+t_{sw}; kT+T)$, на каждом из которых функция α_1 постоянна. Для нахождения нулевого приближения на промежутке $[kT; kT+t_{sw})$ решается задача Коши с начальными условиями $u_0 = u(kT)$, $v_0 = v(kT)$, причём матрица системы имеет диагональный вид после замены (3). После этого находятся значения $u_0 = u(kT+t_{sw})$, $v_0 = v(kT+t_{sw})$, которые являются начальными условиями для задачи Коши при рассмотрении системы на промежутке $[kT+t_{sw},; kT+t)$. Таким образом, решение находится в рекуррентном виде:

$$\begin{aligned}\begin{pmatrix} u_0(t) \\ v_0(t) \end{pmatrix} =& Q(t-t_{sw}-kT)\, P(t_{sw}) \begin{pmatrix} u_0(kT) \\ v_0(kT) \end{pmatrix} + \\ &+ Q(t-t_{sw}-kT)\, D_0(t_{sw}) + G_0(t-t_{sw}-kT)\,,\end{aligned} \tag{6}$$

где Q и P - некоторые матрицы, а D и G - столбцы, коэффициенты которых были найдены.

Кратко опишем способ нахождения стационарного решения в нулевом приближении по малому параметру β системы (4). Находятся собственные значения λ_1 и λ_2 и соответствующие им собственные векторы ψ_1 и ψ_2 матрицы $Q(T-t_{sw})\, P(t_{sw})$. По базису из эти столбцов проводим разложения столбцов $(u_0(kT), v_0(kT))^T$, откуда, после перехода в данном выражении к пределу при $k \to \infty$, получаем стационарные значения функций u_0, v_0. Подставляя в данное выражение найденные ранее значения и делая обратную замену к (3), получаем стационарные значения исходных переменных в нулевом приближении X_0^s, Y_0^s. Они, в частности, обладают свойством $X_0^s + Y_0^s = N_0$. Таким образом, при $t \to \infty$ все члены социума становятся распределены между соперничающими партиями. Аналогичным способом можно получить асимптотики более высоких порядков.

Усложним рассмотренную выше модель, введя в рассмотрение забывание информации.

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= (\alpha_1(t) + \beta_1 X)(N_0 - X - Y) - \gamma X,\ X(0) = 0, \\ \frac{dY}{dt} &= (\alpha_2 + \beta_2 Y)(N_0 - X - Y) - \gamma Y,\ Y(0) = 0. \end{aligned} \tag{7}$$

Показано, что в этом случае наблюдается выход на периодический режим после переходного периода. Социологический смысл данного результата состоит в том, что периодическое краткосрочное увеличение интенсивности пропаганды одной из сторон приводит к соответствующему периодическому увеличению количества ее сторонников, за которым следует периодическое уменьшение.

Для этой модели построена асимптотика периодического решения (для которого было введено обозначение $\tilde{X}(t)$, $\tilde{Y}(t)$). Поскольку система уравнений для модели (7) регулярно возмущенная, то функции $\tilde{X}(t)$ и $\tilde{Y}(t)$ можно разложить в степенные ряды по параметру β:

$$\begin{aligned} \tilde{X}(t) &= X_0(t) + \beta X_1(t) + ... + \beta^k X_k(t) + o\left(\beta^k\right), \\ \tilde{Y}(t) &= Y_0(t) + \beta Y_1(t) + ... + \beta^k Y_k(t) + o\left(\beta^k\right). \end{aligned} \tag{8}$$

Каждый член асимптотики строится как периодическая функция. Поэтому дифференциальные уравнения для членов асимптотики рассматриваются на одном периоде $[0; T]$ с условиями

$$X_i(0) = X_i(T), Y_i(0) = Y_i(T), i = 0, 1, 2, ... \tag{9}$$

При этом, аналогично асимптотике, построенной выше, отдельно рассматриваются: первая часть $[0; t_{sw}]$ периода $[0; T]$ и вторая его часть $[t_{sw}; T]$. Состыкование решений происходит по непрерывности.

Суть применяемого подхода для построения нулевого члена асимптотики состоит в следующем. На отрезке $[0; t_{sw}]$ решается задача Коши с начальным условием $X_1(0) = X_1^0$, $Y_1(0) = Y_1^0$, где X_1^0, Y_1^0 - пока неизвестные величины. В результате получаем функции $X_1(t)$, $Y_1(t)$ на данном отрезке и определяем величины $X_1(t_{sw})$, $Y_1(t_{sw})$, зависящие от X_1^0, Y_1^0. Далее решается задача Коши на отрезке $[t_{sw}; T]$ и определяются значения $X_1(T)$, $Y_1(T)$, зависящие от $X_1(t_{sw})$ и $Y_1(t_{sw})$ и, тем самым, от X_1^0 и Y_1^0. Наконец, получаем уравнения для X_1^0, Y_1^0 из условий периодичности (9). Решение этих уравнений позволяет определить значения X_1^0, Y_1^0. Тот же подход может быть применен к построению членов асимптотики (8) более высоких порядков.

Исследование моделей с помощью численных методов проводились в разработанном автором программном комплексе в среде MatLab.

Результаты первой главы опубликованы в работах [1, 3] (Scopus), [4, 5] (ВАК), [10–12, 14–16] (РИНЦ), [17].

Вторая глава

В модели выбора позиций индивидами при информационном противоборстве в социуме [34] предполагается, что в обществе идёт информационная борьба двух партий (X и Y). Индивид, принадлежащий этому обществу, в каждый момент времени стоит перед выбором, адептом какой партии ему стать. На его выбор влияет пропаганда через СМИ, а также наблюдаемые действия других членов общества, что выступает в роли стимулов для поддержки одной из партий. Модель имеет следующий вид:

$$\frac{d\psi}{dt} = A\alpha\left[C\left(2\int\limits_{-\psi(t)}^{\infty} N(\varphi)\,d\varphi - N_0\right) + b_1 - b_2\right] - a\psi, \tag{10}$$

с начальным условием, задаваемым в виде

$$X(0) = \int\limits_{-\psi(0)}^{\infty} N(\varphi)\,d\varphi. \tag{11}$$

Здесь:

$\psi(t)$ имеет смысл определяемого социальной средой сдвига стимулов в сторону поддержки X;

$\alpha > 0$ - коэффициент пропорциональности между подаваемым стимулом и возбуждением, генерирующемся в элементе;

$A > 0$ - коэффициент пропорциональности между возбуждением элемента и скоростью роста генерирующегося возбуждения;

$C > 0$ - коэффициент, характеризующий степень восприимчивости индивида к сигналам, подаваемым обществом;

φ характеризует внутреннюю склонность индивида к выбору той или иной реакции;

$X(t)$ - число сторонников партии X в момент времени t;

$Y(t)$ - число сторонников партии Y в момент времени t;

$X(t) = \int\limits_{-\psi(t)}^{\infty} N(\varphi)\, d\varphi$, $Y(t) = \int\limits_{-\infty}^{-\psi(t)} N(\varphi)\, d\varphi$;

$b_i(t)$ - интенсивность пропаганды в пользу поддержки X и Y соответственно, предполагается, что $b_1 > b_2$.

Для исследования влияния поляризации общества на исход информационного противоборства автором диссертации рассматривается распределение, имеющее следующий вид:

$$N(\varphi) = \begin{cases} 0, & |\varphi| > d + h; \\ \frac{N_0}{4h}, & d - h \leqslant |\varphi| \leqslant d + h; \\ 0, & |\varphi| < d - h. \end{cases} \tag{12}$$

Здесь параметр d имеет смысл поляризации общества. Показывается, что при достаточно большой степени поляризации вне зависимости от остальных параметров модели исходом информационного противоборства является ничья. При относительно небольшой степени поляризации в зависимости от остальных параметров возможна победа как первого источника информации (с более сильной пропагандой), так и второго. Кроме того, чем более разрознены группы индивидов (насколько по-разному члены каждой группы склонны к поддержке выбранного источника информации), тем благоприятнее исход информационной борьбы для источника информации с более сильной пропагандой.

Рассмотрен случай медленно поляризующегося социума, когда поляризация общества линейно увеличивается с течением времени. Показано, что в этом случае достигается стационарное состояние, соответствующее сильной постоянной поляризации при тех же остальных параметрах. При этом уравнение модели является сингулярно возмущенным, а его решение относится к классу контрастных структур. Построено нулевое приближение этого решения по малому параметру. Кроме того, модель исследована численно. При этом разработана методика для определения момента остановки расчёта. Методика реализуется в разработанном автором диссертации комплексе в среде MatLab, позволяющим сравнить решение динамической системы со стационарным решением, полученным из теоретических соображений.

Далее предполагается, что есть две группы индивидов, каждая из которых характеризуется своим распределением $n_1(\varphi)$, $n_2(\varphi)$, при этом индивиды общаются больше внутри своей группы, чем с представителями другой группы. Обозначим N_1 численность первой группы, N_2 - численность второй группы. Пусть первая группа имеет распределение, смещенное влево (склонна к поддержке источника информации Y), рассматривается нормальное распределение, смещённое вправо для первой группы и влево для второй.

То, что люди более общаются с представителями своей группы, описывается с помощью весов γ, $1-\gamma$ $(1/2 \leq \gamma \leq 1)$. В частности, если $\gamma = 1$, то каждая группа общается только внутри себя. Если же $\gamma = 1/2$, то в плане общения разбиения на группы вовсе нет. Модель имеет вид системы из двух интегро-дифференциальных уравнений.

Разработана математическая модель, описывающая спад общественного внимания после таких разовых политических событий, как выборы в один тур, референдумы, неудавшиеся попытки государственного переворота. При этом, в качестве эмпирической величины, характеризующей общественное внимание, принято количество поисковых интернет-запросов о событии $k\left(t\right)$. Модель имеет вид

$$N\left(\varphi\right)=N_0\lambda e^{-\lambda\varphi}; k\left(t\right)=\int\limits_{h-\psi(t)}^{\infty} N\left(\varphi\right)d\varphi; \psi\left(t\right)=\psi^0\exp\left[-\gamma t\right] \qquad (13)$$

Здесь

N_0 - общее количество индивидов, которые при определенном внешнем стимуле готовы сделать данный запрос;

$\lambda>0$ характеризует неравномерность этих индивидов с точки зрения того, насколько сильно они заинтересованы;

$\varphi+\psi\left(t\right)>h$;

$\varphi\geq 0$ - характеристика внутреннего фактора конкретного индивида; отражает его общий интерес к политическим событиям данного рода;

$N\left(\phi\right)$- распределение индивидов;

$\psi\left(t\right)$ - функция, описывающая внешний стимул для всех индивидов. Полагается, что значение $\psi\left(0\right)=\psi^0>0$ задается самим фактом события; предполагается, что запрос делается один раз в день.

Модель позволяет получить сравнительные показатели для различных событий. В частности, получено, что количество индивидов, готовых, при определенном стимуле, сделать запрос о Брексите, примерно в 11 раз больше, чем о перевороте в Турции, но они в два раза слабее реагировали на сам факт произошедшего события. Кроме того, было выяснено, что интерес к Брекситу спадал в 0,61 раза медленнее. Аналогичные выводы можно сделать о соотношении параметров для любой другой пары событий.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что построенная модель адекватно описывает процесс спада общественного внимания с течением времени и позволяет сделать ряд количественных выводов.

Результаты второй главы опубликованы в работах [6, 7] (ВАК), [8, 9, 19] (РИНЦ), [13, 18] .

Третья глава

Модель "Власть-Общество" [35] рассматривает взаимодействие иерархической властной структуры и гражданского общества. Пусть число властных инстанций достаточно большое, и властная иерархия - "сплошная среда". Координата $x \in [0;1]$ характеризует место инстанции в иерархии: чем больше x, тем младше инстанция. Пусть $p(x,t)$ - количество власти у инстанции уровня x в момент времени t. Обозначим $X(t)$ - число сторонников правящей партии, $Y(t)$ - оппозиции, N_0 - численность социума. Предположим, что скорость увеличения (или уменьшения) количества власти у правящей партии тем больше, чем больше превосходство (или поражение) в информационной борьбе. Пусть далее интенсивность распространения информации через СМИ для каждого из противников зависит от общего количества власти у правящей партии $P = \int\limits_0^1 p(x,t)\,dx$, то есть $\alpha_1 = \alpha_1(P)$, $\alpha_2 = \alpha_2(P)$, причём $\alpha_1(P)$ - возрастающая функция, $\alpha_2(P)$ - убывающая.

Полученная модель "Власть-Информация-Общество" имеет следующий вид

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \varepsilon^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - k_1(x)(p - \phi_1(x))(p - \phi_2(x))(p - \phi_3(x)) + s(p)(X - Y); \quad (14)$$

$$\left.\frac{\partial p}{\partial x}\right|_{x=0} = \left.\frac{\partial p}{\partial x}\right|_{x=1} = 0; \quad (15)$$

$$\frac{dX}{dt} = [\alpha_1(P) + \beta_1 X](N_0 - X - Y); \quad (16)$$

$$\frac{dY}{dt} = [\alpha_2(P) + \beta_2 X](N_0 - X - Y). \quad (17)$$

Далее будем предполагать $\varepsilon \ll 1$, то есть стационарные распределения власти близки к корням многочлена $-k_1(x)(p - \phi_1(x))(p - \phi_2(x))(p - \phi_3(x)) + s(X - Y)$ при условии, что X и Y - это установившиеся численности адептов правящей партии и оппозиции соответственно. В зависимости от параметров системы, многочлен может иметь от 1 до 3 корней, обозначим их $\psi_1(x)$, $\psi_2(x)$

и $\psi_3(x)$. Если $\psi_1(x) < \psi_2(x) < \psi_3(x)$, то $\psi_1(x)$ и $\psi_3(x)$ - устойчивые распределения, $\psi_2(x)$ - неустойчивое. При этом $\psi_1(x)$ - партиципаторное распределение власти [36] (т.е. такое распределение, при котором общество является более демократическим, и общее количество власти у правящей партии меньше), $\psi_3(x)$ - распределение сильной руки [36]. Функции $\phi_1(x)$ и $\phi_3(x)$ имеют смысл оптимального распределения власти в случае отсутствия влияния информационного противоборства на распределение власти в иерархии.

Построенная выше модель представляет собой не вполне типичную систему, состоящую из одного уравнения в частных производных параболического типа (с краевыми условиями второго рода) и двух обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка.

В плане численного исследования, это потребовало адаптации разностного уравнения с тем, чтобы обеспечить связь всех трех уравнений. Кроме того, ввиду разномасштабности параметров модели и сложного поведения решения, не во всех случаях очевиден признак, по которому следует определять конец расчета. Более конкретно: имеются интервалы времени, в течение которых решение изменяется существенно медленнее, чем в предшествующие и следующие интервалы. Кроме того, в некоторых случаях наблюдается "обратный ход" распределения власти. Поэтому было принято решение останавливать расчет в соответствии с теоретическими представлениями о том, как должно выглядеть решение. Для этого был разработан специальный программный комплекс в среде MatLab. С его помощью возможно проведение сравнения решения динамической системы с предельным решением, определяемым теоремой Тихонова о решении сингулярно возмущенной системы. При этом, изучаемая модель не относится к классу тихоновских систем, в связи с чем теорема не может быть к ней применена в строгом смысле слова, а лишь позволяет получить ориентир для качественного понимания свойств решения.

Модель рассмотрена при различных значениях параметров, решениям дана содержательная политологическая трактовка, тем самым, получен ряд типовых сценариев формационного противоборства.

Таким образом, исследование проводится методом, сочетающим аналитические и численные подходы, с политологической трактовкой полученных решений.

Установлено, что в случае малого влияния информационного противоборства на распределение власти, в зависимости от начальных условий возможно установление как партиципаторного распределения, так и распределения сильной руки. В случае сильного влияния информационного противоборства вне зависимости от начальных условий возможно только одно стационарное распределения власти: распределение сильной руки в случае победы в информационном противоборстве правящей партии и партиципаторное распределение в случае победы оппозиции. При этом в некоторые моменты возможно конфедеративное распределение власти, когда некоторая (не высшая) инстанция обладает максимальным по всей иерархии количеством полномочий.

Результаты третьей главы опубликованы в работах [2, 7] (ВАК).

В заключении приведены основные результаты работы.

В приложении содержатся данные для построения модели спада интереса к разовому политическому событию, рассмотренной в главе 2.

Список публикаций

1. Mathematical modeling of information warfare in a society / Mikhailov A.P., Petrov A.P., Proncheva O.G., Marevtseva N.A. // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. Vol. 6, no. 5. P. 27–35.
2. Прончева О. Г. Модель системы "власть-информация-общество" // Препринты ИПМ. 2018. № 11. С. 1–15.
3. A model of information warfare in a society under a periodic destabilizing effect / Mikhailov A.P., Petrov A.P., Proncheva O.G., Marevtseva N.A. // Mathematical Models and Computer Simulations. 2017. Vol. 9, no. 5. P. 580–586.
4. Модель информационного противоборства в социуме при периодическом дестабилизирующем воздействии / Михайлов А.П., Петров А.П., Прончева О.Г., Маревцева Н.А. // Математическое моделирование. 2017. Т. 29, № 2. С. 23–32.
5. Моделирование периодических дестабилизирующих воздействий при информационном противоборстве в социуме / Михайлов А.П., Петров А.П., Прончева О.Г. и др. // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2016. № 16. С. 1–16.
6. Прончева О. Г. О влиянии степени поляризации общества на исход информационного противоборства // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2016. № 75. С. 1–29.

7. Прончева О. Г. О некоторых особенностях численного исследования нелинейных моделей социальных процессов // Препринты ИПМ. 2018. № 22. С. 1–14.
8. Mikhailov A. P., Petrov A. P., Proncheva O. G. Modeling the effect of political polarization on the outcome of propaganda battle // Computational mathematics and information technologies. 2017. no. 1. P. 65–81.
9. Прончева О. Г. Выбор позиций индивидами при информационном противоборстве в поляризованном и консолидированном социума // Математическое моделирование социальных процессов: сборник трудов, выпуск № 19 / Гл. ред. А.П. Михайлов. 2017. № 19. С. 89–96.
10. Михайлов А. П., Прончева О. Г. Дестабилизирующее воздействие на социум в моделях информационного противоборства // Математическое моделирование социальных процессов: сборник трудов, выпуск № 19 / Гл. ред. А.П. Михайлов. 2017. № 19. С. 54–57.
11. Михайлов А. П., Петров А. П., Прончева О. Г. Математическое моделирование информационного противоборства в эпоху интернета // Научный сервис в сети Интернет. Труды XVIII Всероссийской научной конференции. 2016. С. 264–270.
12. Михайлов А. П., Петров А. П., Прончева О. Г. Развитие моделей информационного противоборства в социуме // Теория активных систем (ТАС-2016): труды междунар. науч.-практич. конфер, 16–17 нояб. 2016 г., Москва, Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук; под общ. ред. Д.А. Новикова, В.Н. Буркова. 2016. С. 262–265.
13. Прончева О. Г. О влиянии степени поляризации общества на информационное противоборство // Теория активных систем (ТАС-2016): труды междунар. науч.-практич. конфер, 16–17 нояб. 2016 г., Москва, Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук; под общ. ред. Д.А. Новикова, В.Н. Буркова. 2016. С. 266–269.
14. Михайлов А. П., Петров А. П., Прончева О. Г. Численное исследование модели информационного противоборства в структурированном социуме // Математическое моделирование и информатика социальных процессов. 2016. № 18. С. 81–97.
15. Петров А. П., Прончева О. Г. Исследование моделей информационного нападения и информационного противоборства в структурированном социуме // Математическое моделирование и информатика социальных процессов. 2015. № 17. С. 136–149.
16. Математическое моделирование информационного противоборства в социуме / Михайлов А.П., Петров А.П., Прончева О.Г., Маревцева Н.А. // Международный экономический симпозиум – 2015. Материалы Международных научных конференций, посвященных 75-летию экономического факультета Санкт-Петербургского государственного университета: сборник статей. Отв. ред. С.А. Белозеров. 2015. С. 293–303.
17. Моделирование информационного нападения и информационного противоборства в социуме / Михайлов А.П., Петров А.П., Прончева О.Г., Маревцева Н.А. // Проблемы моделирования социальных процессов: Россия и страны АТР: материалы Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием, Владивосток, 11 – 13 ноября 2015 г. / отв. ред. И.Г. Кузина. 2015. С. 43–45.
18. Прончева О. Г. Влияние поляризации на исход информационного противоборства // Проблемы моделирования социальных процессов: Россия и страны АТР: материалы Второй всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием, Владивосток, 7 –8 декабря 2016 г. / Отв. ред. И.Г. Кузина. 2016. С. 239–242.
19. Михайлов А. П., Петров А. П., Прончева О. Г. Моделирование выбора позиций индивидами при информационном противоборстве в случае двухкомпонентного социума // Современные проблемы математического моделирования: сборник трудов XVII Всероссийской конференции-школы молодых исследователей (пос. Абрау-Дюрсо, 11–16 сентября 2017 г.) / Южный федеральный университет; Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. 2017. С. 133–117.
20. Петров А. П., Прончева О. Г. Аналитическое и численное исследование модели выбора позиций индивидами при информационном противоборстве в социуме // Современные проблемы математического моделирования: тезисы XVII Всероссийской конференции-школы молодых исследователей / Южный федеральный университет; отв. ред. Г.В. Муратова, И.Н. Шабас. 2017. С. 57.
21. Прончева О. Г., Михайлов А. П., Петров А. П. Исследование моделей информационно-

го противоборства в социуме // Интернет-ресурс Международная (48-я Всероссийская) молодежная школа-конференция Современные проблемы математики и ее приложений, Россия, Екатеринбург, ИММ им. Н.Н. Красовского УрО РАН, 5 - 11 февраля 2017 г. 2017.
22. Михайлов А. П., Петров А. П., Прончева О. Г. Математическое моделирование информационного противоборства в эпоху интернета // Интернет-ресурс "Научный сервис в сети Интернет 2016". 2016.
23. Прончева О. Г. Исследование модели выбора позиций индивидами при информационном противоборстве в поляризованном социуме // XIV Международный семинар Математические модели и моделирование в лазерно-плазменных процессах и передовых научных технологиях (LPpM3). 4 - 9 июля 2016, Москва, Россия. Программа, аннотации докладов и лекций. 2016. С. 59.
24. Прончева О. Г. Развитие математических моделей информационного нападения и информационного противоборства // Материалы Международного молодежного научного форума ЛОМОНОСОВ-2015 / Отв. ред. А.И. Андреев, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. 2016.
25. Прончева О. Г. Анализ модели информационного противоборства в структурированном социуме // Материалы Международного молодежного научного форума ЛОМОНОСОВ-2016 / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс]. 2016.
26. Моделирование информационной борьбы в социуме / Михайлов А. П., Петров А. П., Прончева О. Г., Маревцева Н.А. // VIII Московская международная конференция по исследованию операций (ORM2016): Москва, 17–22 октября 2016. 2016. Т. 2. С. 198–199.
27. Михайлов А. П., Петров А. П., Прончева О. Г. Моделирование процессов информационного противоборства в социуме // Современные проблемы математической физики и вычислительной математики: Международная конференция. Москва. МГУ имени М.В. Ломоносова. 31 октября-3 ноября 2016 г. Тезисы докладов. 2016. С. 107.

Цитированная литература

28. Daley D. J., Kendall D. G. Stochastic rumours // IMA Journal of Applied Mathematics. — 1965. — Vol. 1, no. 1. — P. 42–55.
29. Maki D. P., Thompson M. Mathematical Models and Applications. — Prentice-Hall. Englewood Cliffs, 1973.
30. Губанов Д. А., Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства. — М. Физматлит, 2010.
31. Шведовский В. А. Моделирование распространения информации в смежных социальных группах // Математические методы в социологическом исследовании. — 1981. — С. 209–214.
32. Breer V., Novikov D., Rogatkin A. Mob control: models of threshold collective behavior. — Heidelberg: Springer, 2017.
33. Михайлов А. П., Маревцева Н. А. Модели информационной борьбы // Математическое моделирование. — 2011. — Т. 23, № 10. — С. 19–32.
34. Петров А. П., Маслов А. И., Цаплин Н. А. Моделирование выбора позиций индивидами при информационном противоборстве в социуме // Математическое моделирование. — 2015. — Т. 27, № 12. — С. 137–148.
35. Михайлов А. П. Математическое моделирование власти в иерархических структурах // Математическое моделирование. — 1994. — Т. 6, № 6. — С. 108–138.
36. Дмитриев М. Г., Жукова Г. С., Петров А. П. Асимптотический анализ модели “власть-общество” для случая двух устойчивых распределений власти // Математическое моделирование. — 2004. — Т. 16, № 5. — С. 23–34.

Научное издание

Прончева Ольга Геннадьевна

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук на тему:

Математическое моделирование информационного нападения и информационного противоборства в структурированном социуме

Подписано в печать «_____» ________________ 2018 г. Формат 60×90 1/16.

Тираж 75 экз. Заказ № А-4.

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. 125047, Москва, Миусская пл., д.4.