

Моделирование неопределенности группового поведения с помощью стохастических клеточных автоматов с памятью и дифференциальных кинетических уравнений

Д. О. Жуков¹, А. Г. Смычкова², Л. А. Истратов³

Московский технологический университет, Россия, Москва (МИРЭА)

¹zhukovdm@yandex.ru, ²nsmych@yandex.com, ³kuyahstibov@gmail.com

Аннотация. В работе рассматривается возможность описания групповых социальных процессов, на основе созданной авторами модели стохастических клеточных автоматов с памятью и систем дифференциальных кинетических уравнений, описывающих переходы между состояниями участников социальной системы. В силу наличия человеческого фактора, рассматриваемые процессы следует отнести к классу процессов, параметры которых в значительной степени обладают свойством неопределенности. Среда, в которой моделируются поведение ячеек клеточного автомата на отдельных шагах процесса взаимодействия, рассматривается, как перестраиваемая на каждом шаге сеть, имеющая случайную структуру, а учет памяти в поведении ячеек и их переходы между состояниями описывается наборами изменяющихся правил. Кроме того, модель учитывает возможность переходов между состояниями ячеек автомата под действием внешних факторов, которые имеют вероятностный характер.

Ключевые слова: случайная сеть; стохастический клеточный автомат; реализация памяти; неопределенность параметров процесса; дифференциальная кинетическая модель

I. ВВЕДЕНИЕ

Анализ динамики изменений и моделирование процессов группового поведения представляет огромный интерес и является очень актуальным. События 2016 г.: Brexit Великобритании и выборы в США показали слабую состоятельность современных социологических моделей прогнозирования итогов группового выбора. Большинство социологических служб предсказывали победу Хиллари Клинтон и отказ Великобритании от выхода из Евросоюза. Тем не менее, даже основываясь на статистически значимых социологических выборках в опросе респондентов об их намерениях в голосовании, большинство служб сделало неправильные прогнозы. С одной стороны это было связано с большой волатильностью данных, получаемых в опросах, а с другой стороны с тем, что существующие методы моделирования и прогнозов не являются эффективными.

Таким образом, необходим поиск новых методик анализа данных и создание моделей группового поведения и управления в социальных системах.

II. КРАТКИЙ ОБЗОР МОДЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ В СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

В работе [1], авторы описали динамику изменения предпочтений избирателей в Конгресс США на промежуточных выборах 2010 г. В данной статье рассматривается динамика эволюции предпочтений избирателей за кандидатов в ходе избирательного цикла в Конгресс в 2010 г.

Обзор моделей выбора предпочтений при голосовании и избирательной политики представлен в работе [2]. В ней обсуждаются два класса моделей: те, в которых выборы рассматриваются с позиции агрегации предпочтений и те, которые смотрят на выборы исходя из механизмов агрегации информации. Модели первого класса, как правило, учитывают общее изменение с течением времени доли избирателей (являются феноменологическими, не связывают изменения и вызывающие их причины) с определенными предпочтениями, а модели второго класса учитывают влияние общего количества информации о кандидатах или партиях на избирателей во время выборов (частично связывают изменения с вызывающими их причинами).

В работе [3] теория клеточных автоматов была применена к описанию процессов в социальных системах. Согласно теории авторов этой работы поведение социальной системы зависит от свойств внешней среды и структуры поведения, которая может быть описана с помощью четырех параметров в поведении: разнообразие, связность, взаимозависимость, и адаптируемость. В этой статье было показано, что поведение становится более упорядоченным и целенаправленным при увеличении взаимозависимости и адаптивности.

Эволюционная динамика социальных сетей с использованием моделей клеточных автоматов для исследования статистических характеристик процессов кластеризации (разделение на плохо связанные группы),

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 16-29-09458 офи_м

например, таких как степень разделения, была исследована в работе [4]. Авторы рассмотрели три вида факторов в поведении, названных ими себялюбие, взаимность, и альтруизм, которые необходимы для построения социальной сети и анализа их влияния на её рост. Результаты моделирования показали, что принцип взаимности и альтруизм способствовать росту числа объединенных узлов в социальной сети, а эгоизм тормозит рост.

Исследователи [5] построили сотовую модель клеточных автоматов для распространения слухов в социальных сетях. Экспериментальное моделирование проводилось при периодических граничных ограничениях в процессе распространения слухов. Результат показал, что модель клеточных автоматов способна охарактеризовать реально наблюдаемое поведение распространения слухов в социальной сети. На основании полученных результатов о влиянии граничных условий на распространение слухов авторы работы предложили эффективную стратегию иммунизации сети для их подавления.

Стохастические и перколяционные модели процессов, протекающих в социальных системах, были рассмотрены в работах [6,7], а кинетические модели в статье [8].

Заметим, что рассмотренные модели не могут считаться полностью решающими вопрос описания динамики социальных и экономических процессов. На основании этого можно прийти к выводу, что необходимо разработать новые модели описания процессов распространения информации в сетях социальных связей, которые будут основаны на базе междисциплинарного подхода.

III. АНАЛИЗ ТРЕНДОВ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ИЗБИРАТЕЛЕЙ ВО ВРЕМЯ ЭЛЕКТОРАЛЬНОЙ КАМПАНИИ В США 2016 Г. И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДАННОГО ПРОЦЕССА

Наблюдаемые в ходе предвыборной кампании Трамп - Клинтон данные имеют колебательную и трендовую (нисходящую и восходящую базовые линии) составляющие (левые части рис. 1 и 3). Для корректного анализа хода кампаний необходимо было разделить тренд и колебания, без потери существенной информации о протекающих процессах. Традиционно, при анализе колебаний предпочтений избирателей во время выборов кампаний, как правило, используются методы, основанные на Фурье – преобразованиях. На наш взгляд это не является эффективным, поскольку их применение основано на том, что наблюдаемые процессы представляет собой суперпозицию гармонических колебаний. Однако реальная динамика изменения предпочтений избирателей, по механизмам их формирования, может не соответствовать этому условию, а колебания являются нелинейными, что определяется наличием человеческого фактора, приводящего к нечеткости, неопределенности и недетерминированности характеристик процессов. Поэтому для анализа исходных данных в нашей работе было предложено использовать метод почти – периодических функций.

Анализ показал, что для изменения предпочтений избирателей различных кандидатов можно выделить несколько почти – периодов. Почти – период отличается от просто периода тем, что его величина в днях не имеет строгого значения, а лежит в некотором числовом интервале, а сам почти – период является средним значением из этого интервала (и измеряется от одного минимума популярности до следующего).

Как показал проведенный анализ, успеха достигал тот кандидат в предвыборных стратегиях, у которого было минимальное число почти – периодов изменения настроений избирателей. Например, Трамп имел в кампании 2016 г. один почти – период равный 86 дней, а Хиллари – три: 50, 86 и 134 (выражен очень слабо). Наличие одного основного почти – периода в динамике показателя предпочтений говорит о большей продуманности и последовательности в реализации успешной стратегии избирательной кампании данного кандидата. Как показал анализ избирательных кампаний, второй составляющей успеха являлось увеличение амплитуды колебаний предпочтений избирателей, позволяющее при достижении максимума в день голосования добиться победы в кампании.

IV. МОДЕЛЬ СТОХАСТИЧЕСКИХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ С ПАМЯТЬЮ

В модели стохастических клеточных автоматов с переменной памятью на каждом шаге процесса между его ячейками устанавливается новая сеть случайных связей, минимальное и максимальное число которых выбирается из заданного диапазона. В момент времени $t=0$ узлу каждого типа присваивается числовой параметр, задающий число шагов, в течение которого она будет сохранять свой тип (память ячейки). Переход узлов между состояниями, определяется суммарным числом узлов разного типа, с которыми было взаимодействие на заданном числе шагов памяти. Через число шагов, равное глубине памяти происходит его переход в тот тип, который имел максимальное значение своей суммы.

Действие внешних факторов на изменения типов узлов, для каждого шага можно задать с помощью матрицы вероятностей переходов.

Рассмотрим динамику изменения состояний клеточного автомата, моделирующего избирательную кампанию Трамп – Клинтон. Среднее число связей любой ячейки клеточного автомата на каждом шагу процесса, в качестве примера возьмем равным от 3х до 7ми, это примерно соответствует числу обсуждений политических тем в течение одного месяца одного, данного человеком с другими. Обработка социологических данных, с помощью метода почти – периодических функций показывает, что величина колебаний настроений избирателей Трампа и неопределившихся составляла 86 дней, а избирателей Хиллари Клинтон 50, поэтому глубину памяти избирателей Хиллари Клинтон можно принять равным одному условному шагу, а избирателей Трампа и неопределившихся двум шагам. Длительность одного шага примем равной 50 дней, а длительность всей 500 дневной

избирательной кампании составит 10 шагов моделирования.

Один из возможных вариантов для моделирования,. Значения вероятностей переходов между состояниями ячеек под действием внешних факторов в таблице.

ТАБЛИЦА I Величины вероятностей переходов за один шаг при действии случайных внешних факторов

	Клинтон	Трамп	Неопределившиеся
Клинтон	0,790	0,030	0,180
Трамп	0,025	0,775	0,200
Неопределившиеся	0,272	0,235	0,493

Результаты моделирования (рис. 1) показывают, что к концу избирательной кампании значения предпочтений избирателей практически сходятся к одной точке в районе 38 %, что неплохо согласуется с наблюдаемыми значениями предпочтений избирателей на практике.

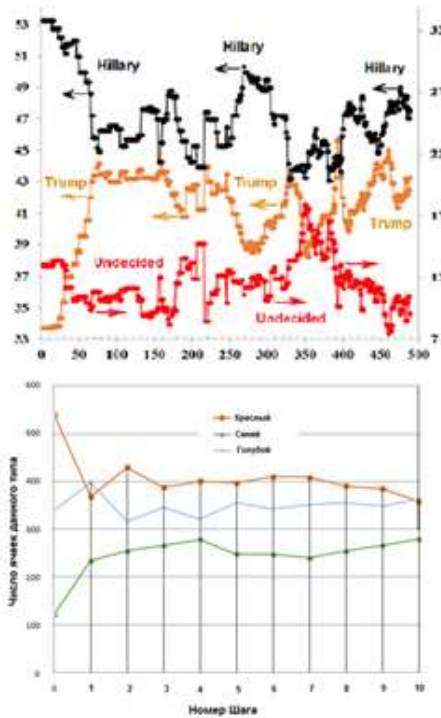


Рис. 1. Моделирование переходов клеточного автомата описывающего избирательную кампанию Клинтон – Трамп

V. АНАЛИЗ ЭЛЕКТОРАЛЬНЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ, СОЗДАННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ КИНЕТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Для описания электоральной кампании может быть построена диаграмма переходов между предпочтениями избирателей по отношению к кандидатам (рис. 2), на основании которой были получены кинетические дифференциальные уравнения (1)-(3), описывающие изменение настроений с течением времени.

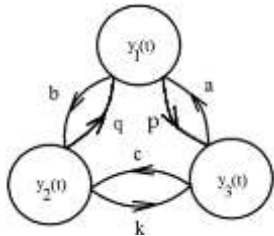


Рис. 2. Диаграмма процесса изменения предпочтений избирателей во время выборов

$$\frac{dy_1(t)}{dt} = ay_1(t - \tau_1)y_3(t) - py_1(t - \tau_1) - by_1(t - \tau_1)y_2(t - \tau_2) + qy_1(t - \tau_1)y_2(t - \tau_2) = ay_1(t - \tau_1)y_3(t) - py_1(t - \tau_1) - (b - q)y_1(t - \tau_1)y_2(t - \tau_2) \quad (1)$$

$$\frac{dy_2(t)}{dt} = cy_2(t - \tau_2)y_3(t) - ky_2(t - \tau_2) + by_1(t - \tau_1)y_2(t - \tau_2) - qy_1(t - \tau_1)y_2(t - \tau_2) = cy_2(t - \tau_2)y_3(t) - ky_2(t - \tau_2) + (b - q)y_1(t - \tau_1)y_2(t - \tau_2) \quad (2)$$

$$\frac{dy_3(t)}{dt} = -ay_1(t - \tau_1)y_3(t) - cy_2(t - \tau_2)y_3(t) + ky_2(t - \tau_2) + py_1 \quad (3)$$

Для сравнения получаемых теоретических результатов с наблюдаемыми данными была выбрана электоральная кампания распределения голосов избирателей во время предвыборной гонки 2015 – 2016 гг. за пост президента США между Дональдом Трампом и Хилари Клинтон. Помимо коэффициентов пропорциональности (a,b,c,p,k и q), влияющих на переходы между состояниями избирателей, в модель были включены и времена τ_1 и τ_2 изменения их взглядов. Обработка имеющихся социологических данных с помощью метода почти – периодических функций позволила определить числовое значение ряда параметров предлагаемой модели. В частности были определены значения времен изменения взглядов избирателей.

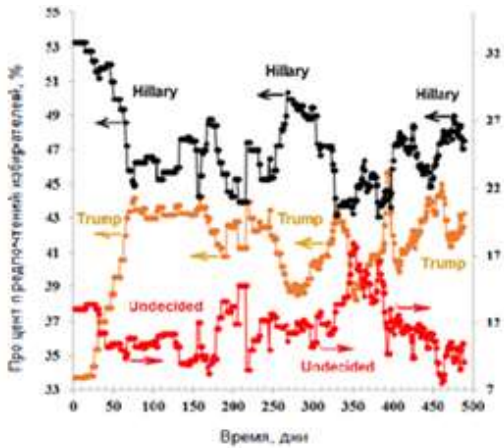


Рис. 3. Результаты предпочтений избирателей США (Трамп, Хиллари и неопределившиеся избиратели)

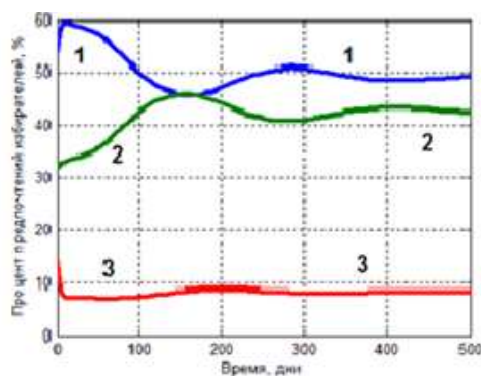


Рис. 4. Результаты моделирования

Подбор коэффициентов позволяет получить хорошее соответствие теоретических результатов модели с наблюдаемыми данными (рис. 3 и рис. 4).

VI. ОБСУЖДЕНИЕ

Особенностью модели стохастического клеточного автомата с переменной памятью является то, что среда, в которой моделируются связи между ячейками клеточного автомата на отдельных шагах переходов, рассматривается как сеть, имеющая случайную структуру. Вторая особенность – описание переменной памяти. Память может быть как неизменным свойством самой ячейки, так и быть связанной с типом её текущего состояния. В обоих случаях её можно задать с помощью функции плотности вероятности распределение ячеек клеточного автомата по глубине памяти.

Правила переходов между состояниями ячеек могут учитывать их взаимодействия между собой на предыдущих шагах, а также и случайное внешнее воздействие.

Динамика процессов, описываемых с помощью модели стохастических клеточных автоматов с переменной памятью, оказывается чувствительной к начальным условиям и величинам параметров.

Созданная модель стохастических клеточных автоматов с переменной памятью может быть использована для описания группового поведения в социальных системах, разработки стратегий проведения выборов. Данная модель позволяет получить результаты качественно и количественно совпадающие с наблюдаемыми на практике зависимостями поведения избирателей с течением времени. Результаты моделирования показывают, что к концу избирательной кампании значения предпочтений избирателей практически сходятся к одной точке в районе 38 %, что согласуется с наблюдаемыми значениями предпочтений избирателей на практике.

При анализе социальных процессов использование методов, основанных на Фурье-преобразованиях, не является эффективным, поскольку их применение основано на том, что формирование колебаний представляет собой суперпозицию гармонических колебаний. Однако реальные процессы изменения предпочтений избирателей, по механизмам их

формирования, могут не соответствовать этому условию, и являются нелинейными, в силу наличия человеческого фактора приводящего к нечеткости, неопределенности и недетерминированности характеристик процессов. Поэтому для эффективного анализа исходных данных может быть использован метод почти – периодических функций.

Разработанная дифференциальная макрокинетическая модель дает неплохие результаты при описании группового выбора в социальных системах, позволяет получить результаты качественно и количественно совпадающие с наблюдаемыми на практике зависимостями поведения избирателей с течением времени. Результаты моделирования показывают, что к концу избирательной кампании значения предпочтений избирателей находятся в диапазоне от 43% (Трамп) до 49 % (Клинтон), что согласуется с наблюдаемыми значениями предпочтений избирателей на практике.

Недостатком дифференциальной кинетической модели является то, что она позволяет описывать только «сглаженные» характеристики групповых процессов, и не учитывает локальный колебательный характер предпочтений избирателей того или иного кандидата и волатильность колебаний.

Полученные результаты могут позволить разработать эффективные стратегии проведения избирательных кампаний и управления предпочтением их участников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] C. Panagopoulos. The dynamics of voter preferences in the 2010 congressional midterm elections. Forum, V. 8, Issue 4, 2010, Article number 9.
- [2] T.A. Dewan, K.A.B. Shepsle. Political economy models of elections. Annual Review of Political Science., V. 14, 2011, pp. 311-330.
- [3] Hay, J., Flynn, D. How external environment and internal structure change the behavior of discrete systems. Complex Systems., 2016, 25 (1), pp. 39-49.
- [4] Li J., Chen Z., Qin T. Document Using cellular automata to model evolutionary dynamics of social network. IET Conference Publications, 2013(644 CP), pp. 200-205.
- [5] Wang A., Wu W., Chen J. Social network rumors spread model based on cellular automata., 2014, Proceedings - 2014 10th International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks, MSN 2014.
- [6] T. Khvatova, M. Block, D. Zhukov, S. Lesko. How to measure trust: the percolation model applied to intra-organizational knowledge sharing network. Journal of Knowledge Management. 2016, Vol. 20, Issue 5, pp.918–935.
- [7] Dmitry Zhukov, Tatiana Khvatova, Anastasia Zaltzman. Stochastic Dynamics of Influence Expansion in Social Networks and Managing Users' Transitions from One State to Another. / Proceedings of the 11th European Conference on Information Systems Management, ECISM 2017, The University of Genoa, Italy, 14 -15 September, 2017, pp. 322-329.
- [8] Zhukov D.O., Alyoshkin A.S., Obukhova A.G. Modelling to be based on Systems of Differential Kinetic Equations to Processes Group Selection Voters during the Electoral Campaign of Trump-Clinton 2015 – 2016. Proceeding The 7th International Conference on Information Communication and Management ICIM'17, August 28-30, 2017, Moscow, Russian Federation, ACM ISBN 978-1-4503-5279-6/17/08, p. 88-94.