А. П. Рыжов, И. Ю. Ильин, Об одной модели влияния в социальных сетях, *Интеллектуальные системы. Теория и приложения*, 2017, том 21, выпуск 4, 50–64

Об одной модели влияния в социальных сетях

Рыжов А.П., Ильин И.Ю.

В работе приводится модель влияния в социальных сетях и изучаются некоторые ее свойства. Основное внимание уделяется изучению матрицы влияния. Влияние рассматривается как величина, зависящая от времени, а также состояния и мнений других агентов. Для рассмотрения подобного влияния интерпретируется противоположность мнений агентов. Приведены примеры социальных сетей, основанных на данной модели. Рассмотрены несколько простых случаев сходимости матрицы влияния. Показаны отличия в структуре модели социальной сети с предельной матрицей влияния от некоторых существующих моделей.

Ключевые слова: анализ социальных сетей, модели влияния.

1. Введение.

Социальные сети являются одним из ярких феноменов современных информационно-коммуникационных технологий и общепризнанным трендом их развития. Приведем лишь несколько примеров [1]:

• Каждую секунду 8 человек на планете становятся частью какой-либо из существующих социальных сетей.

• Facebook по численности 3-я страна в мире, после Китая и Индии, с населением около миллиарда человек.

• Шансы того, что среднестатистический человек младше тридцати лет состоит в какой-либо социальной сети — более 50%.

Они все сильнее влияют на такие важные аспекты повседневной жизни, как семья (например, более 10% браков, заключенных в США, произошли благодаря социальным сетям; социальные сети служат причиной каждого третьего развода в мире [1]), экономика (у 24 из 25 крупнейших мировых газет упали тиражи из-за того, что новости начали приходить к людям через социальные сети; для поиска работников 4 из 5 компаний используют социальные сети [1]), и многие другие. Естественно, такой инструмент взаимодействия с огромной аудиторией не мог остаться не замеченным для политиков, бизнесменов и других заинтересованных в этом людей и организаций. Социальные сети используются как для решения вполне понятых «традиционных» задач (например, маркетинга), так и достаточно необычных [2]. Среди большого набора таких задач нам будут интересны задачи влияния.

2. Краткая история развития социальных сетей.

Отношения между людьми, возникающие при этом структуры отношений, их анализ и управление ими, связанные с этим вопросы власти волновали людей с первых шагов организации общества. С развитием общества эти вопросы стали изучаться на систематической основе. В качестве примера можно привести всем известную Школу Пифагора: «Начиналось всё со ступеней обучения нравственной чистоте. Он объяснял законы взаимоотношений человека — с человеком, с природой, с Богом» [4]. Однако, собственно термин «социальная сеть» впервые введен Джоном Барнсом (John A. Barnes) только в 1954 г. в работе [3].

Интересующие нас компьютерные социальные сети возникли в результате достижений информационно-коммуникационных технологий, среди которых можно отметить следующие:

• 1971 г.: электронная почта (социальная сеть с использованием компьютерной техники), Рэй Томлинсон (Ray Samuel Tomlinson)

• 1988 г.: «IRC» (Internet Relay Chat) - общение в реальном времени, финский студент Ярко Ойкариненом (Jarkko Oikarinen)

• 1991 г.: Интернет, Тимоти Джон Бернерс-Ли (Sir Timothy John «Tim» Berners-Lee)

Интересующийся деталями читатель без труда сможет найти в Интернете всю необходимую информацию по упомянутым авторам. Перечисленное составило инфраструктурную основу современных социальных сетей. Собственно сети в современном их понимании возникли не так давно, и знаковыми событиями здесь были создание Рэнди Конрадом (Randy Conrad) сети Classmates.com в 1995 г. и создание Марком Эллиот Цукербергом (Mark Zuckerberg) сети Facebook в 2004 г.

Заметим, что мир реальный и мир виртуальный существуют не отдельно друг от друга. В качестве примера можно привести сеть Groupon, созданную в 2008 г. (https://www.groupon.com) – соединение общения и бизнеса, on-line и off-line миров [5, 6]. Заметим также, что многие исследователи и лидеры высокотехнологической индустрии (например, технический директор Google Рэй Курцвейл (Ray Kurzweil) - см., например, [7], а также множество ссылок в Интернет) видят будущее социальных сетей как сетей смешанных, где общаются, развиваются, совместно решают задачи люди и роботы. Более подробно про это можно прочитать в [8].

В заключение этого краткого обзора отметим, что в анализе социальных сетей можно выделить два подхода, которые можно условно назвать взгляд снаружи и взгляд изнутри. Первый подход является более распространенным в настоящее время. Отчасти это связано с тем, что с математической точки зрения социальная сеть представляет собой достаточно хорошо изученный объект – граф, представляющий собой набор узлов или вершин и связей или ребер между ними. Такой взгляд позволяет визуализировать, сделать наглядным, состояние сети или ее части и понимать некоторые процессы в ней происходящие. Наиболее впечатляющая коллекция таких визуализаций представлена в блоге известного ученого и предпринимателя Стивена Вольфрама (Stephen Wolfram), разработчика системы компьютерной алгебры Mathematica и системы извлечения знаний WolframAlpha [9]. Некоторые из них приведены на рис. 1 и 2.

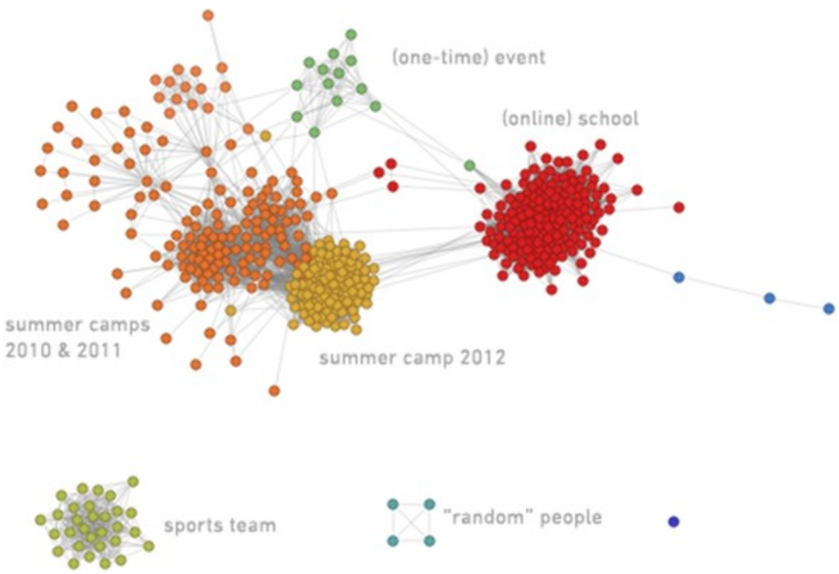

Рис. 1. Социальной граф 14 летней дочки С. Вольфрама.

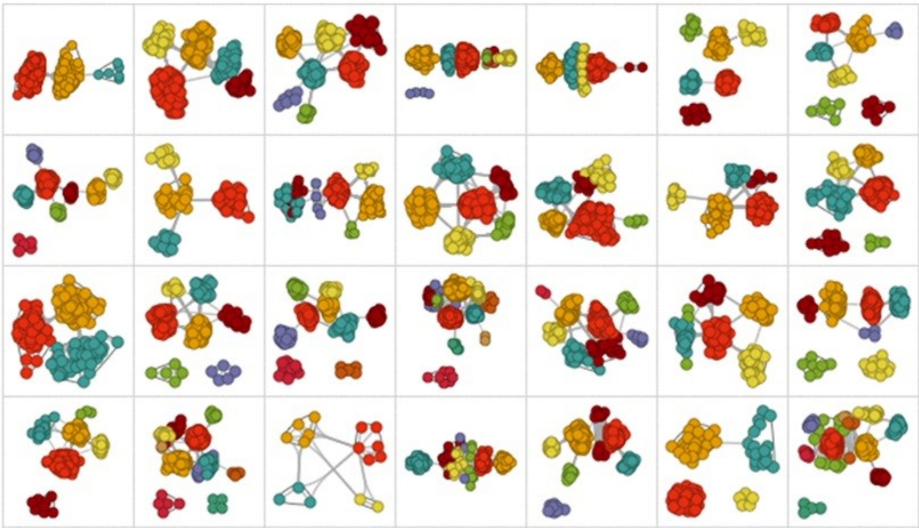

Рис. 2. Социальные графы друзей С. Вольфрама.

В рамках этого подхода вводятся различные меры важности, ценности и других качеств вершин и ребер графа для конкретных задач или классов задач, изучаются их свойства. Мы не будем повторять здесь все эти определения; интересующегося читателя отошлем к книге [10], где они представлены наиболее полно. В этой же книге содержатся очень интересное переосмысление классических задач управления, игр и других для сетевых объектов. Среди обширной англоязычной литературы кроме упомянутой можно выделить книги [11] и [12]. Второй подход, или взгляд изнутри, изучает свойства социальной сети как модели реального мира. Эти свойства и возникающие в связи с этим вопросы конструирования оптимальных сетей изучаются в работах [8, 13]. Ниже мы будем придерживаться первого подхода.

3. Влияние в социальных сетях.

В повседневности мы постоянно сталкиваемся с ситуациями, в которых нам приходится делать выбор. К примеру, утром вам может представится возможность встретиться с друзьями, для которой придется отменить ваши планы, а может быть вы захотите провести это время дома и посмотреть кино, или же вы решите заняться какими-либо важными вопросами и делами. Что бы вы не выбрали, на вас будут оказывать влияние различные факторы – друзья, обстановка, ваши личные предпочтения. Это простейший пример влияния, с которым мы сталкиваемся в нашей жизни [15]. Тем не менее, он хорошо иллюстрирует важность этого явления для принятия человеком каких-либо решений.

Дадим формальное определение. В психологии влияние — процесс и результат изменения индивидом поведения другого человека, его установок, намерений, представлений, оценок и прочего в ходе взаимодействия с ним. Различаются влияние направленное и ненаправленное. Механизм первого — убеждение и внушение. При этом субъект ставит задачу добиться определенного результата от объекта влияния. Ненаправленное влияние подобной специальной задачи не имеет, хотя эффект воздействия возникает, часто проявляясь в действии механизмов заражения и подражания [16].

В рамках Марковской модели информационного влияния считается, что влияние формирует мнение по какому-либо вопросу [10]. Однако, как показывают исследования социальных психологов, мнение также в некоторой степени формирует и влияние. Для того чтобы пояснить это, сошлемся на социальный эксперимент Шехтера, где группы людей, занимающие одну позицию, переставали общаться с диссидентом, занимающим противоположную, а границы групп перестраивались таким образом, чтобы исключить диссидента и изолировать [15]. При этом способна возникать и другая ситуация: «влиятельное меньшинство» может изменить мнение большой группы и не станет диссидентами [28].

Именно поэтому замечание о воздействии мнения на влияние и представляется важным. Для того чтобы учесть это, мы немного изменим марковскую модель информационного влияния и зададим влияние агентов как зависящее от их мнений. Причем связь влияния и мнения мы будем задавать так, чтобы новая модель смогла явно отражать рассмотренные выше социальные явления: изоляцию диссидентов и влиятельное меньшинство. В какой-то мере введенная зависимость сблизит её с марковскими моделями с репутацией и управления доверием (более подробно про отличия с ними мы поговорим немного позже, когда будем определять модель математически). Мы сможем ставить схожие по смыслу задачи: «максимизировать репутацию агента» (для модели с репутацией), «максимизировать влияние агента» (для модели влияния), где под агентом мы будем понимать члена социальной сети.

4. Модель. Мнение, влияние, противоположность мнений. Структура социальной сети.

Для того чтобы построить нашу модель, обратимся к [10] и по аналогии с Марковской моделью информационного влияния дадим некоторые определения и понятия. Так, в Марковской модели социальная сеть представляет собой ориентированный граф $G = (V, E)$, где множество вершин V – множество действующих агентов (групп, людей, сообществ), E – множество ребер, связей между действующими агентами. Сами агенты, входящие в социальную сеть, будем описывать множеством $N = 1, 2, 3, \ldots, n$.

Итак, в Марковской модели агент – вершина ориентированного графа, агенты взаимодействуют друг с другом, высказывая мнение по определенному вопросу, и если i-й агент влияет на агента, то i-я и j-я вершины в графе связаны ориентированным ребром, причем ребру приписано некоторое положительное число, обозначающее доверие j-го агента i-му агенту, или же влияние i-го агента на j-го агента. Данное число может меняться со временем в зависимости от предыдущего состояния социальной сети и мнения агентов. Проинтерпретируем мнение, доверие и влияние в рамках данной модели:

Мнение i-го агента – функция $r_i(t) \to [s, s]$, $s \in \mathbb{R}^+$, $t \in \mathbb{N}$ - т.е. ограниченная вещественная функция, зависящая от дискретного момента времени t.

В определении мнения никаких отличий от Марковской модели нет, формироваться оно будет идентично тому, как это происходит в Марковской модели, но для того чтобы выписать его в явном виде нам необходимы следующие определения:

Влияние i-го агента на j-го агента – функция $a_{ij}(t, r_i(t-1), r_j(t-1)) \to [0, m]$, $m \in \mathbb{R}^+$, $t \in \mathbb{N}$ - ограниченная неотрицательная функция, также зависящая от дискретного момента времени t и предыдущих мнений. В дальнейшем конструкцию $a_{ij}(t, r_i(t-1), r_j(t-1))$ будем обозначать $a_{ij}(t)$ для сокращения записи.

Доверие – функция $b_{ij}(t, r_i(t-1), r_j(t-1)) \to [0, m]$, $m \in \mathbb{R}^+$, $t \in \mathbb{N}$ «двойственная» к функции влияния, т.е. $a_{ij}(t) = b_{ji}(t)$. В целях упрощения в дальнейшем будем использовать только функции влияния.

В дальнейшем, для того чтобы было удобно показывать зависимость влияния от мнения нам будет необходимо следующее определение противоположных мнений: будем говорить, что мнения i-го агента и j-го *противоположны*, если $sgn(r_i(t) \cdot r_j(t)) = -1$, и схожи, если $sgn(r_i(t) \cdot r_j(t)) = 1$.

После того как мы дали необходимые нам понятия, мы можем заметить, что функции мнения агентов образуют вектор $\vec{r}(t)$, на i-й строчке которого располагается функция мнения i-го агента, который называется вектором мнения или мнением социальной сети, а функции влияния образуют матрицу влияния $\mathcal{A}(t)$, на i-й строчке в j-м столбце которой располагается функция влияния i-го агента на j-го. И теперь мы можем показать как будет формироваться мнение в момент времени $t + 1$ в матричном виде: $\vec{r}(t+1) = \mathcal{A}(t) \cdot \vec{r}(t)$.

Заметим, что функции влияния, в отличие от функций мнения, не будут указаны в явном виде. С какой-то стороны это может показаться упущением, так как не позволяет явно судить об их сходимости, однако в то же время мы сможем задавать более сложные функции влияния.

Перед тем как описать структуру социальной сети, мы должны дать определения итоговой матрицы влияния и итогового вектора мнения, иначе нам трудно будет давать ответы на следующие вопросы: «В каком состоянии будет находиться социальная сеть через некоторый большой период времени? Какие мнения в итоге установятся в социальной сети? Как будут влиять агенты друг на друга по прошествии некоторого большого периода времени? Перестанут ли они «дружить» друг с другом или нет?».

Пусть существует предел $\lim\limits_{t\to\infty} \mathcal{A}(t) = \mathbf{A}$. Тогда матрица $\mathbf{A}$ называется матрицей результирующего влияния или итогового влияния. Также, если существует предел $\lim\limits_{t\to\infty} \vec{r}(t) = \mathbf{r}$, то вектор $\mathbf{r}$ называется вектором результирующего мнения, или итоговым мнением. Из того, как формируется вектор $\vec{r}(t)$ следует, что $\mathbf{r} = \mathbf{rA}$, а сам вектор $\mathbf{r}$ будет являться собственным вектором матрицы $\mathbf{A}$ с $\lambda = 1$.

До того, как мы приступим к изучению итогового влияния и мнения, необходимо задать структуру социальной сети, чтобы результаты были легко интерпретируемы, и мы смогли сравнить их с результатами, полученными в других моделях социальных сетей. Поэтому в соответствии с [10] мы введем несколько понятий:

Сообществом S называется множество агентов, которые не подвергаются влиянию агентов вне него: $S \subseteq N|$ и для $\forall i \in S, \forall j \in N \setminus S$ выполнено $a_{ij}(t) = 0$, $\forall t \in \mathbb{N}$.

Группой называется множество агентов, которые влияют друг на друга прямым или косвенным образом.

Спутником группы называется агент, подвергающийся влиянию этой группы, но не оказывающий на нее влияния.

Смысл этих определений подробно описан в книге [10], для Марковской модели информационного влияния. Так как мы задаем их абсолютно идентично, обратившись к вышеуказанной книге, читатель может посмотреть на основные примеры сообществ, групп и спутников, здесь же мы оставим данные определения без примеров.

Представляется важным заметить, что в каком-то сообществе могут содержаться другие сообщества. Для нашего удобства и во избежание путаницы, мы можем выделить максимальные сообщества, то есть такие, в которые нельзя включить любого агента не из него. А затем мы можем описывать взаимодействия агентов только в отдельно взятом максимальном сообществе, и не изучать другие максимальные сообщества (ведь агенты из других сообществ на него никак не влияют!), то есть матрицу $\mathcal{A}(t)$ можно "разбить"на подматрицы, характеризующие отдельные максимальные сообщества.

5. Вопрос существования результирующей матрицы и результирующего вектора. Свойства матрицы результирующего влияния.

Ранее мы вывели необходимое условие на собственное значение результирующих матриц, нам будут нужны такие, что у них будет собственный вектор $\mathbf{r} = \mathbf{Ar}$. Теперь посмотрим, какие свойства достаточны для матрицы $\mathcal{A}(t)$ для того чтобы существовал её предел.

Перед тем как сформулировать первое утверждение уточним, что в нём под колебанием элементов матрицы понимается колебание функций на множестве, см. [24].

Утверждение 1. Пусть колебание элементов матрицы влияния стремится к нулю. Тогда существует матрица итогового влияния.
Доказательство:
В данном случае функции $a_{ij}(t)$ будут удовлетворять критерию Коши и сходиться к некоторому пределу, следовательно, и матрица $\mathcal{A}(t)$ сходится к некоторой матрице *Утверждение доказано.*

Приведём пример двумерной дважды стохастической матрицы $\mathcal{A}(t)$ с $a_{11}(t) = a_{22}(t)$, которая удовлетворяет **утверждению 1** и имеет предел $\mathbf{A}$. Зададим элементы $\mathcal{A}(t)$ следующим образом:

В начальный момент времени $a_{11}(0) = C$, $a_{12} = 1 - C$, $\frac{1}{2} \leq C < 1$. Во все остальные моменты времени $a_{11}(t) = 1 - a_{12}(t)$, $a_{12}(t) = a_{12}(t-1) \cdot (1 + 2^{-2^t})$, если мнения агента 1 и 2 схожие, и $a_{12}(t) = \frac{a_{12}(t-1)}{2}$, если противоположные.

Покажем корректность и сходимость. Рассмотрим вектор $\vec{r}(0)$ такой, что мнения агентов 1 и 2 всегда схожие. Покажем, что $\lim\limits_{t\to\infty} a_{12}(t) < 1$.

Докажем по индукции, что $a_{12}(t) < 1 - 2^{-t-1}$. Для $t = 1$ это будет верно. Проверим для $t > 1$. Предположим, что верно для $t-1$, и получим для t: $a_{12}(t-1) \cdot (1 + 2^{-2^t}) < (1 - 2^{-t}) \cdot (1 + 2^{-2^{-t}}) < 1 - 2^{-t-1}$. А значит $\lim\limits_{t\to\infty} a_{12}(t) < \sum\limits_{i=1}^{\infty} 2^{-t} = 1$. Колебание стремится к нулю, и данный пример корректен, соответствует **утверждению 1** и сойдётся либо к единичной матрице (в случае, если мнения долго будут противоположны), либо куда-то ещё, если оба агента выработают схожие мнения.

Перед тем как к перейти к следующему примеру и сформулировать **утверждение 2**, дадим следующее определение.

Будем говорить, что *влияние монотонно по знаку*, если для любых $t > k$ при условии $sgn(r_i(t-1) \cdot r_j(t-1)) = 1$ выполнено $a_{ij}(t) \geq a_{ij}(t-1)$, и при $sgn(r_i(t-1) \cdot r_j(t-1)) = -1$ $a_{ij}(t) < a_{ij}(t-1)$, $i \neq j$. Если $sgn(r_i(t) \cdot r_j(t-1)) = sgn(r_i(t-1) \cdot r_j(t)) = 1$, то будем говорить, что мнения агентов остаются схожими (противоположными) в момент времени t.

Утверждение 2. Пусть влияние монотонно по знаку. Тогда если существует такое k, что для любых $t > k$ мнения любых агентов i и j будут оставаться схожими (или противоположными), то существует результирующая матрица.

Доказательство: Не ограничивая общности, пусть для некоторого k верно, что для любых $t > k$ и любых $\vec{r}(0)$ $sgn(r_i(t) \cdot r_j(t-1)) = sgn(r_i(t-1) \cdot r_j(t)) = 1$, $a_{ij}(t) \leq m$, и $a_{ij}(t) \uparrow\uparrow$ при $t > k$. Тогда мы можем применить теорему Вейерштрасса о пределе монотонной ограниченной последовательности. Значит $\exists \lim\limits_{t\to\infty} a_{ij}(t) = \mathbf{a_{ij}}$. *Утверждение доказано.*

Приведем пример матрицы влияния, которая подходит под формулировку **утверждения 2**. Так же, как и в предыдущем примере, возьмем ldвумерную дважды стохастическую матрицу с дополнительным условием $a_{11}(t) = a_{22}(t)$ и зададим элементы матрицы $\mathcal{A}(t)$ следующим образом: в начальный момент времени $a_{11}(0) = 1-C$, $a_{12}(0) = C$, $0 < C < \frac{1}{2}$, а для всех остальных моментов времени t функции влияния будут выглядеть следующим образом: $a_{12}(t) = C + C \cdot sgn(r_1(t-1) \cdot r_2(t-1)) \cdot \frac{2 \cdot arctg(t)}{\pi}$, $a_{11}(t) = 1 - a_{12}(t)$. Докажем, что для данной матрицы выполнены условия **утверждения 2**.

Пусть это не так, и мнения не остаются схожими на бесконечном множестве $S \subseteq \mathbb{N}$. Тогда оба мнения в любой момент времени t отличны от нуля, при этом $a_{11}(t) = a_{22}(t) > C$, $a_{12} < 1 - C$, $\forall t \in \mathbb{N}$, кроме того, для $s \in S$ верно, что $sgn(r_1(t) \cdot r_2(s)) = -1$. Не ограничивая общности, можем считать, что $sgn(r_1(t)) = 1$. Из определения модели $r_1(s+1) =$

$a_{11}(s+1) \cdot r_1(s) + a_{12}(s+1) \cdot r_2(s)$; $r_2(s+1) = a_{21}(s+1) \cdot r_1(s) + a_{22}(s+1) \cdot r_2(s)$. Возьмем такое s, что $r_1(s+1) > 0$, $r_2(s+1) < 0$. Мы можем это сделать так как $a_{12}(s)$ при противоположных знаках будет мало. В моменты $s + \mathit{1}$ и s мнения остаются схожими. Значит, влияние монотонно по знаку $r_1(s+2) \geq r_1(s+1)$, $r_2(s+2) \leq r_2(s+1)$, и это будет верно для всех моментов $s + t$. Следовательно, сходимость достигается для любых начальных векторов $\vec{r}(\mathit{0})$, и матрица удовлетворяет **утверждению 2**.

Теперь мы можем применить это утверждение и посмотреть, чему равен предел матрицы $\mathcal{A}(t)$ в бесконечности. Если мнения долго будут противоположными, то предел их влияния друг на друга будет равен нулю, а если же нет, то он будет равен $2C$, то есть в одном случае агенты перестанут контактировать друг с другом, а в другом их влияние друг на друга увеличится в два раза, и они выработают схожие мнения.

Если рассматривать матрицы $\mathcal{A}(t)$, подходящие под данные утверждения, то можно найти серьёзные идеологические отличия от моделей с доверием и репутацией, которые рассмотрены в [10].

В модели с доверием вводится функция управления, кроме того, рассматриваемое доверие агента связано только с управлением и мнением агента, сама матрица влияния не изменяется. В модели с репутацией формируются лишь общие репутации агентов, то есть репутация одного агента едина для всех остальных. Существенным математическим отличием являются условия сходимости. Сходимость данной модели исследовалась в довольно тривиальных случаях, тогда как Марковская модель информационного влияния сходится всегда, а модели с репутацией и управления доверием сходятся в зависимости от вида функций репутации и матрицы управлений. В целом, изучение условий сходимости данной матрицы представляется авторами хорошим направлением для дальнейшего исследования.

6. О виде матрицы результирующего влияния.

Ранее мы привели два частных случая существования результирующей матрицы и получили её вид для этих случаев. Эти примеры были довольно простыми, включающими лишь одну группу и двух агентов. Теперь, в предположении, что выполнено **утверждение 2** мы попробуем ответить на общий вопрос «как должна выглядеть результирующая матрица?», когда в начале у нас есть неопределенное количество сообществ, групп, спутников, агентов. В предыдущем разделе было отмечено, что матрицу $\mathcal{A}(t)$ можно изучать с помощью разделения её на подматрицы изначальных максимальных сообществ, то есть, если два сообщества никак между собой не связаны, то мы будем рассматривать их матрицы по отдельности. Воспользуемся этим и посмотрим, что происходит с социальной сетью, у которой влияния монотонны по знаку, а мнения после некоторого момента времени остаются схожими. Оказывается, что верны следующие два утверждения:

Утверждение 3.

Пусть выполнены условия **утверждения 2** и для любых агентов i и j с противоположными мнениями $a_{ij}(t) \downdownarrows 0$ для $\forall t > k$; $k, t \in \mathbb{N}$. Тогда результирующие мнения агентов максимальных сообществ итоговой матрицы влияния будут схожими.

Доказательство:

Предположим, что это не так. Пусть в результирующем сообществе **S** есть два множества **Q** и **R**, мнения агентов в каждом из них схожи, но при этом мнения агентов из множества **Q** противоположны мнениям агентов из **R**. Рассмотрим произвольного агента i из множества **Q** и произвольного агента j из множества **R**. Существует момент времени k такой, что их мнения будут оставаться противоположными для любых $t > k$. По условию $a_{ij}(t) \downdownarrows 0$, значит предел $a_{ij}(t)$ будет равен нулю. Так как агенты i и j произвольны, то любой агент из **Q** (**R**) не влияет на агента из **R** (**Q**). Что приводит нас к противоречию с тем, что **S** – сообщество. *Утверждение доказано.*

Для стохастических матриц из этого можно вывести интересный факт о виде собственного вектора.

Утверждение 4.

Пусть выполнены условия **утверждения 3** и матрица $\mathcal{A}(t)$ – стохастическая. Тогда существует результирующий вектор **r** следующего вида: $\mathbf{r} = (c_1, ..., c_1, ..., c_k, ..., c_k)$, где k – количество итоговых сообществ, и каждый элемент c_i встречается столько раз, сколько содержится элементов в итоговом сообществе.

Доказательство: Для стохастической матрицы любого результирующего сообщества вектор $c \cdot (1, 1, ..., 1)$ будет являться собственным. (см. [25].) Результирующий вектор из единиц будет существовать всегда, т.к. матрице сообщества соответствует неразложимая Марковская цепь, у которой корень имеет кратность равную единице [27]. В силу того, что матрица А будет состоять из квадратных матриц для различных максимальных сообществ, результирующий вектор будет состоять из суммы собственных векторов указанного выше вида для матриц различных сообществ. *Утверждение доказано.*

Итак, для стохастических матриц с указанными свойствами мы получаем хорошо интерпретируемый результат – у каждого сообщества агенты будут иметь схожее мнение и их числовой показатель мнения также будет одинаков. В Марковской модели информационного влияния наблюдается немного другое: во всех группах будет принято одинаковое мнение с одинаковым числовым показателем. То есть всюду, где агенты прямо или косвенно влияют друг на друга. Здесь мы получаем несколько иную возможность развития событий: любое множество агентов, которое не будет подвергаться серьёзному влиянию извне, придёт к единому мнению, и не будет общаться с теми, кто займёт противоположную позицию, даже если ранее они контактировали. Таким образом, мы решили изначально поставленную задачу, состоящую в том, чтобы показать связь мнения и влияния с учетом согласования с затронутыми ранее исследованиями социальных психологов [28] о взаимодействии агентов в группах.

7. Заключение.

В данной работе была представлена новая модель социальной сети, основанная на изменении влияния агентов друг на друга в соответствии с занимаемыми ими позициями. В работе не ставилась цель показать все условия сходимости модели и не проводился её полный анализ, однако были показаны отличия в структуре получаемой социальной сети, сделана попытка учесть противоположность взглядов различных агентов. Представляется интересным дальнейший её анализ и исследование её связи с другими явлениями, наблюдаемыми в социальных сетях.

Перспективным для последующего исследования выглядит постановка задачи информационного управления, введение «СМИ» и управления их сообщениями для того чтобы получить наибольшее количество агентов с нужным мнением, а также постановка задачи управления влиянием. Как отмечалось ранее, схожие задачи можно увидеть в [10] у моделей с репутацией и управления доверием.

Еще одним направлением развития данной модели является применение её на реальных социальных сетях. Подбор оптимальных функций влияния, получение практических результатов, прогнозов, а затем соотнесение полученного с реальными данными, исследованиями психологов и с другими моделями.

Список литературы

[1] Сорок фактов о социальных сетях. http://promaketing.by/40-faktov-o-socialnyx-setyax.html

[2] Расследование Das Magazin: как Big Data и пара ученых обеспечили победу Трампу и Brexit. The Insider, 06.12.2016 - http://theins.ru/politika/

[3] John Arundel Barnes. Class and Committees in a Norwegian Island Paris. http://pierremerckle.fr/wp-content/uploads/2012/03/Barnes.pdf

[4] Диалоги с Пифагором - http://ru.pythagoras.name/dialogues-with-pythagoras.html

[5] Grupon - https://ru.wikipedia.org/wiki/Groupon

[6] Фрэнк Сеннетт. Groupon. Бизнес-модель, которая изменила то, как мы покупаем. Перевод с английского. Альпина Паблишер, Москва, 2013, 300 с.

[7] Васильев А. Прогноз развития технологий до 2099 года. Компьютерра, 2015. - http://www.computerra.ru/122163/predictions-of-raymond-kurzweil/

[8] Рыжов А.П. Некоторые задачи оптимизации и персонификации социальных сетей. Saarbrucken, LAP, 2015, 96 с. (ISBN: 978-3-659-68661-0).

[9] Data Science of the Facebook World. - http://blog.stephenwolfram.com/2013/04/data-science-of-the-facebook-world/

[10] Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства. М., Физматлит, 2010, 228 с.

[11] John H. Miller and Scott E. Page. Complex Adaptive Systems: an introduction to computational models of social life. Princeton University Press, 2007, 264 с.

[12] Witold Pedrycz and Shyi-Ming Chen (Eds.). Social Networks: A

Framework of Computational Intelligence. Springer International Publishing Switzerland 2014, .440 p.

[13] Alexander Ryjov. Personalization of Social Networks: Adaptive Semantic Layer Approach. In: Social Networks: A Framework of Computational Intelligence. Witold Pedrycz and Shyi-Ming Chen (Eds.). Springer International Publishing Switzerland 2014, pp. 21-40.

[14] Д. А. Губанов, Д. А. Новиков, А. Г. Чхартишвили. Модели влияния в социальных сетях, Управление большими системами, 2009, выпуск 27, с. 205–281. -
http://www.mathnet.ru/links/ee5b0fe42833edce87554d4fdc7cf91d/ubs367.pd

[15] Зимбардо Ф., Ляйппе М. Социальное влияние — СПб.: Питер, 2001 – 448 с.

[16] Словарь психолога-практика / Сост. С. Ю. Головин. — 2-е изд., перераб. И доп. — Мн: Харвест, М.: АСТ, 2001. — 976 с.

[17] Градосельская Г. В. Сетевые измерения в социологии: Учебное пособие / Под ред. Г. С. Батыгина. М.: Издательский дом «Новый учебник», 2004. — 248 с.

[18] D. Kempe, J. Kleinberg, E. Tardos. Maximizing the Spread of Influence through a Social Network. ACM SIGKDD, 2003.
https:/www.cs.cornell.edu/home/kleinber/kdd03-inf.pdf

[19] Богачев В. И., Смолянов О. Г. Действительный и функциональный анализ: Университетский курс. РХД, 2009. 724 стр.

[20] Винберг Э.Б., Курс Алгебры 2-е / изд., испр. и доп. М.: Изд-во Факториал Пресс, 2001. — 544 с.

[21] Колмогоров, Фомин, А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин, Элементы теории функций и функционального анализа / 7-е изд. — М.: Физматлит, 2004. — 572 стр.

[22] Булинский А.В., Ширяев А.Н. Теория случайных процессов, М.: Физматлит, 2005. — 408 с.

[23] Бахвалов Н . С . Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. — 6-е изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 636 с. : ил.

[24] Зорич В.А. Математический анализ. В 2-х ч. М.: ФАЗИС; Наука; Ч.I. - 1997, 568с.; Ч.II. - 1984, 640с

[25] Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. 2-е изд., доп. — М.: Наука, 1966. — 576 с.

[26] Андреева Г.М. Социальная психология. Учебник для высших учебных заведений / Г. М. Андреева. — 5-е изд., испр. и доп. — М.: Аспект Пресс, 2007. — 363 с.

[27] Маркус, М.; Минк, Х. Обзор по теории матриц и матричных неравенств, М.: Наука. Главная редакция Физико-математической литературы, 1972. – 232 с.

[28] Майерс Д. Социальная психология. – СПб.: Питер, 2002.

About one model of influence in social networks

Ryjov A., Ilin I.

In this paper we provide a model of influence in social networks and study some of its properties. Primary purpose of the research was the study of influence matrix. The influence is considered as a function dependent on time, status and opinion of agents, for further analysis we give the interpretation of opposed opinions of agents. We also give two simple examples of social network based on this model and several cases of convergence of influence matrix. We show some differences between structure of this model with a limit matrix of influence and several other influence models of social networks.

Keywords: social network analysis, influence models.