DOI: 10.18721/JCSTCS.10309
УДК 519.876.5

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ЭПИДЕМИИ И КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Д.К. Горковенко

Байкальский государственный университет,
г. Иркутск, Российская Федерация

Обоснована актуальность исследования социальных сетей. Получены данные о записях в социальных сетях и количестве просмотров в течение времени. Построен процесс оценки параметров моделей SIR и клеточного автомата. Для оценки параметров применен эволюционный генетический алгоритм. Рассмотрено несколько видов моделей эпидемии и клеточного автомата для описания процесса распространения информации. В отличие от существующих исследований впервые проведены обзор и сравнение обоих типов моделей. Проведено имитационное моделирование процесса распространения информации в социальных сетях. В ходе исследования созданы графики, в которых отражены результаты моделирования. Представлен сравнительный анализ моделей, полученных в процессе подбора параметров. В результате выбрана модель МАПП, как наиболее подходящая при описании процесса распространения информации.

Ключевые слова: социальные сети; математическое моделирование; распространение информации в сети; клеточный автомат; модель адаптивно-подражательного поведения.

Ссылка при цитировании: Горковенко Д.К. Сравнительный анализ моделей эпидемии и клеточного автомата при моделировании распространения информации в социальных сетях // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2017. Т. 10. № 3. С. 103–113. DOI: 10.18721/JCSTCS.10309

COMPARISON OF EPIDEMIC MODELS AND CELLULAR AUTOMATA IN MODELING OF DIFFUSION OF INFORMATION IN SOCAL

D.K. Gorkovenko

Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation

The article substantiates the importance of social network research. We have obtained data about the records in social networks and the number of record views. The process of estimating the parameters of the SIR models and the cellular automaton is constructed. The article considers several types of epidemic models and a cellular automaton for describing the process of information dissemination. We have carried out simulation modeling of the process of information dissemination in social networks. In the course of the study, the graphs reflecting the results of modeling were created. As a result, we have presented the best variant from the models. It is a model of adaptive-imitative behavior that is the most accurate in describing the diffusion of information in social networks.

Keywords: social networks; mathematical modeling; diffusion of information in networks; cellular automaton; model of adaptive-imitative behavior.

Citation: Gorkovenko D.K. Comparison of epidemic models and cellular automata in modeling of diffusion of information in socal. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems. 2017, Vol. 10, No. 3, Pp. 103–113. DOI: 10.18721/JCSTCS.10309

Введение

Изучение социальных сетей является перспективным научным направлением. В экономическом аспекте это интересно маркетологам и бизнес-аналитикам. Анализ социальных сетей позволяет создать более тесный процесс взаимодействия компании с клиентами. Инструменты анализа позволяют оценить индивидуальные и групповые предпочтения клиентов, выявить тренды интересов и в дальнейшем решать важные стратегические задачи фирмы.

Одной из основных задач сетей является распространение информации [1]. Статьи, обзоры, аудио, видео, короткие сообщения («твиты») и другие виды информации являются основой социальных сетей. Разнообразие информации, возможность создания и продвижения контента, вот что привлекает большие аудитории. И такие аудитории создают клиентскую базу для распространения информации с различными целями: реклама нового продукта, привлечение новых клиентов, удержание старых клиентов и др.

Рассмотрим два основных способа получения информации. Информация может поступить через связи в социальных сетях, либо через средства массовой информации (СМИ). Оценка эффекта от распространения информации через СМИ была сложной задачей. Однако с появлением веб-блогов и других сетевых медиа (новостные порталы, форумы и пр.) анализировать распространение информации стало проще. Вся информация хранится в сети в открытом доступе, пользователи открыто делятся своими мнениями по поводу информации как в текстовом виде, так и через рейтинговые системы (например, отметки «мне нравится», «поделиться»). Это все позволяет более точно изучать процессы диффузии информации, оценивать эффект от распространения. Но моделирование диффузии в социальных сетях остается сложной задачей в связи со сбором большого количества разнообразной информации из разных источников. Кроме того, для исследования необходимо обрабатывать и отслеживать элементы социальных сетей, такие как рекомендации, ссылки, теги, сообщения, фразы и «мемы» [2].

Постановка задачи. Цель работы заключается в выборе оптимальной модели, отражающей реальный рост числа «зараженных» пользователей (просмотревших запись) во временном интервале. Такая модель позволит получить информацию об охвате пользователей, скорости распространения информации и каналах распространения.

С помощью данной модели планируется исследовать факторы, влияющие на охват аудитории социальной сети. Например, время публикации, применение виртуального маркетинга на разные сообщества и др.

Исходные данные для исследования. Для сбора данных была выбрана популярная в России социальная сеть «ВКонтакте». Выбрано сообщество с количеством участников 25 775. Открытые данные о связях участников использованы для построения социального графа данного сообщества. Был запущен процесс, который в течение двух суток собирал информацию о новых записях и изменении количества просмотра записей на «стене» сообщества. Основными сущностями для сбора данных выступали: «агент сети», «запись на стене сообщества», «просмотры записи».

Сущность «агент сети» характеризуется данными агента, связями с другими агентами социальной сети и связями с другими сообществами сети.

Сущность «запись на стене сообщества» описана следующими данными: дата создания и текстовая информация.

Сущность «просмотры записи» включает дату обновления и общее количество просмотров.

Полученные данные легли в основу будущего моделирования процессов распространения информации и оценки параметров моделей. Сравнение исходных данных и полученных путем имитационного моделирования показали интересные, с точки зрения исследования, результаты.

Выбор моделей для исследования. В ходе исследования выбраны два типа моделей для моделирования процесса распространения информации: модели эпидемии и модели клеточного автомата.

Модели эпидемии были сформулированы в работе [7] в 1921 г. А в 1965 г. была сформулирована модель Далея-Кендалла для описания распространения слухов. Данный класс моделей до сих пор применяется при моделировании процесса распространения информации (пример – прикладной пакет ISM, система CLAVIRE).

Это объясняется тем, что процесс распространения информации можно сравнить с эпидемией [3, 4]. Особенно в социальных сетях. В связи с отсутствием расстояния между агентами, скорости распространения информации очень высоки (при условии, что информация новая и вызывает интерес), распространение начинается с малых групп и переходит на все большие группы, пока не достигнет пика и не пойдет на спад.

Но модели эпидемии обладают недостатком: они отражают количественное распространение информации и не позволяют получить представление о каналах распространения. Чтобы более точно отразить реальный процесс, была рассмотрена модель клеточного автомата. Клеточный автомат – это дискретная динамическая система, включающая однородные клетки, соединенные друг с другом. Представляет собой сетку произвольной размерности, каждая клетка которой в каждый момент времени может принимать одно из конечного множества состояний, при этом определено правило перехода клеток из одного состояния в другое. Состояние каждой клетки определяется клетками, находящимися в окрестности данной клетки [5]. Такое определение не противоречит определению социальной сети. Исходя из этого можно считать, что модель пригодна для построения социального графа и моделирования социальных процессов.

Оценка параметров моделей. При оценке параметров использован генетический алгоритм. Генетические алгоритмы (ГА) – это область исследований, которая появилась в результате работ Д. Холланда и его коллег. ГА представляет собой адаптивный поисковый метод, основанный на селекции лучших элементов в популяции. Основой для возникновения и дальнейшего применения таких алгоритмов является модель биологической эволюции и методы случайного поиска [6].

С точки зрения моделирования ГА можно интерпретировать следующим образом: имея начальное множество наборов параметров, путем последовательных преобразований следует получить решение, удовлетворяющее условиям исследования. Само преобразование можно назвать алгоритмом поиска, или генетическим алгоритмом.

ГА обычно состоит из следующих этапов:

- задать целевую функцию (приспособления);
- создание начальной популяции;
- скрещивание;
- мутация;
- вычисление значения целевой функции для всех особей;
- формирование нового поколения;
- если не выполняется условие остановки, то возвращение к третьему этапу.

Функция приспособления – сумма квадратов отклонений между значениями базиса, полученными в результате сбора информации из социальной сети, и значениями, полученными в результате моделирования.

Начальная популяция была задана в виде пяти векторов (x_1, x_1, ..., x_n) для поиска решения в нескольких направлениях:

1. Значения параметров установлены в крайние значения слева.
2. Значения параметров установлены в крайние значения справа.
3. Значения параметров установлены исследователем.
4. Среднее между вариантом 1 и 3.
5. Среднее между вариантом 2 и 3.

На этапе скрещивания получаем новую популяцию следующим образом: выбираем попарно родителей и вычисляем среднее значение.

На этапе мутации к новой популяции добавляется случайное отклонение.

Программные средства. Для проведения расчетов был выбран язык программирования Python 3.5. Выбор языка обусловлен его ясным и понятным синтаксисом. Это позволяет сосредоточиться на решении конкретной задачи, а не отвлекаться на особенности языка. Для работы с массивами данных и математическими вычислениями хорошо подходит библиотека NumPy. Для визуализации данных используется библиотека matplotlib, обладающая похожим на Matlab набором функций. Полученные программные средства сформированы в виде набора консольных команд. На вход подается файл с данными социальной сети, тип исследуемой модели. На выходе получаем параметры модели, массив смоделированных данных и визуализацию в виде графика.

Модели эпидемии

Модель SIR. Детерминированная модель эпидемии SIR (susceptible – infected-removed) описывает способ передачи эпидемии от одного индивида (агента) к другому. Процесс имеет параметр затухания [7]. Состояние агента можно описать тремя типами: уязвимое, зараженное, невосприимчивое.

Количество агентов в сети можно выразить как $N = S(t) + I(t) + R(t)$, где $S(t)$ – количество уязвимых агентов, $I(t)$ – количество зараженных агентов, $R(t)$ – количество невосприимчивых агентов. Невосприимчивое состояние можно интерпретировать как потерю интереса к новости и дальнейшее нежелание распространять её. В модели используются следующие параметры: β – средняя частота заражения; γ – постоянная средняя скорость «выздоровления» в единицу времени.

Модель можно представить в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{dS}{dt} = -\dfrac{\beta SI}{N}, \\ \dfrac{dI}{dt} = \dfrac{\beta SI}{N} - \gamma I, \\ \dfrac{dR}{dt} = \gamma I. \end{cases}$$

Используя эти систему уравнений и исходные данные, построим процесс подбора параметров. График полученной имитационной модели отражен на рис. 1. Кривая «зараженных» пользователей очень сильно расходится с данными, полученными из социальной сети. Из этого следует, что данная модель не отражает реальные данные. Поэтому с помощью данной модели невозможно оценить реальный охват пользователей.

Расширенная модель SIR. Социальная сеть обладает изменчивостью во времени. Это означает, что агенты могут присоединиться к сети или покинуть сеть. Обозна-

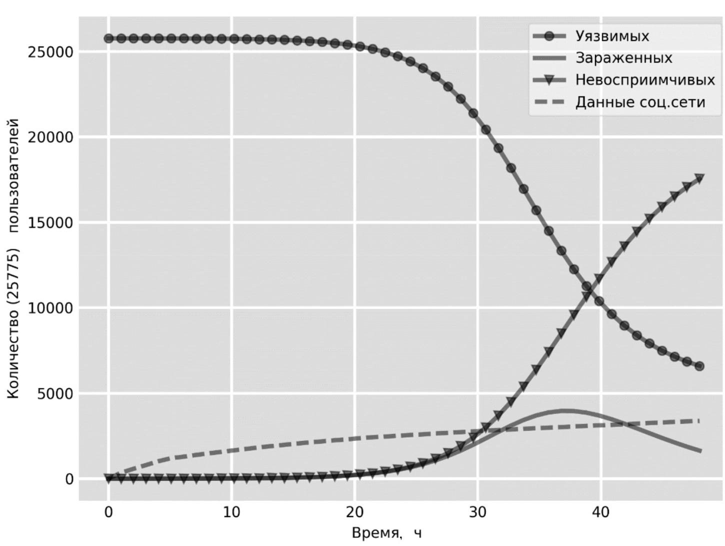

Рис. 1. Модель SIR

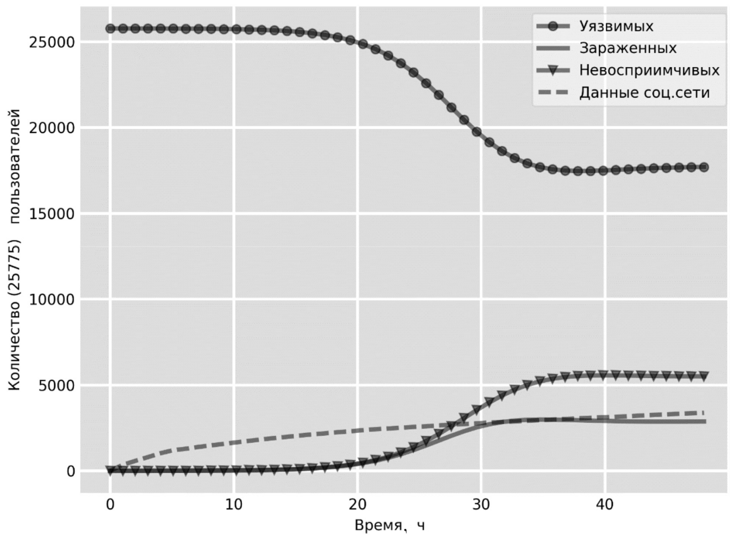

Рис. 2. Расширенная модель SIR

чим параметром μ среднюю частоту присоединения к сети в ед. времени. Параметром δ будем считать среднюю частоту выхода агента из сети в ед. времени. Система уравнений примет следующий вид:

$$\begin{cases} \dfrac{dS}{dt} = -\dfrac{\beta SI}{N} + \mu(N - S), \\ \dfrac{dI}{dt} = \dfrac{\beta SI}{N} - \gamma I - \delta I, \\ \dfrac{dR}{dt} = \gamma I - \delta R. \end{cases}$$

Введем параметр α – вероятность перехода из невосприимчивого состояния в уязвимое. Добавим данное условие в систему уравнений модели:

$$\begin{cases} \dfrac{dS}{dt} = -\dfrac{\beta SI}{N} + \mu(N - S) + \alpha R, \\ \dfrac{dI}{dt} = \dfrac{\beta SI}{N} - \gamma I - \delta I, \\ \dfrac{dR}{dt} = \gamma I - \delta R - \alpha R. \end{cases}$$

Из графика на рис. 2 видно, что с помощью данной модели можно оценить охват аудитории, но рост числа пользователей во времени она отразить не в состоянии. Большее количество параметров модели дало возможность более гибко построить кривую роста числа «зараженных» агентов сети.

Модель Далея-Кендалла. Известен метод Далея-Кендалла, описанный в 1965 г. [8], – математическая модель имитации процесса распространения информации (слухов), также называемая DK моделью. Данная модель делит население на три разные группы:

- группа, которая начинает распространение слуха (U);
- группа, которая после получения слуха продолжает распространять его (V);
- группа, которая после получения слуха принимает решение не распространять его (W).

Модель представлена на рис. 3. N – число участников процесса распространения. Слух распространяется с вероятностью β/N. Степень принятия слуха определена параметром μ. Когда распространитель слухов сталкивается с аудиторией W, то распространение прекращается, и вероятность того, что это произойдет, равна $\dfrac{\gamma V(V + W)}{N}$. Слух теряет свою ценность с течением времени. Такая вероятность определяется фактором γ. Это объясняется тем, что слух перестает быть новинкой, или не остается частей, которые можно передать. Модель можно представить в виде уравнений:

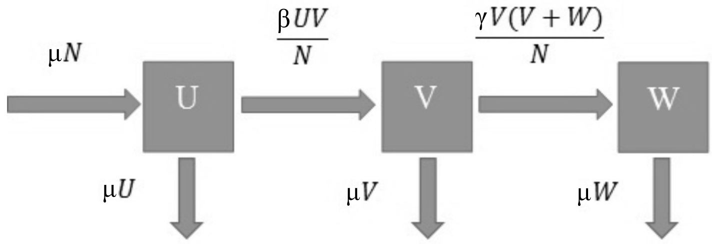

Рис. 3. DK модель распространения слухов

$$\begin{cases} \dfrac{dU}{dt} = \mu N - \dfrac{\beta UV}{N} - \mu U, \\ \dfrac{dV}{dt} = \dfrac{\beta UV}{N} - \dfrac{\gamma V(V+W)}{N} - \mu N, \\ \dfrac{dW}{dt} = \dfrac{\gamma V(V+W)}{N} - \mu W. \end{cases}$$

Решение системы можно представить в виде [9]:

$$\begin{cases} U = \dfrac{\mu N^2}{(\beta V + \mu N)}, \\ V = \dfrac{N\beta\mu V}{\beta V\gamma + \mu\beta V + \mu^2 N}, \\ W = \dfrac{\gamma\beta^2 N V^2}{(\beta V + \mu N)(\beta V\gamma + \mu\beta V + \mu^2 N)}. \end{cases}$$

Определим $C_1 = \beta V + \mu N$ и $D_1 = \beta V\gamma$, запишем решение системы в виде:

$$\begin{cases} U = \dfrac{\mu N^2}{C_1}, \\ V = \left[\dfrac{\mu N}{D_1 + \mu C_1}\right]\beta V, \\ W = \left[\dfrac{\gamma N}{C_1(D_1 + \mu C_1)}\right]\beta^2 V^2. \end{cases}$$

Данные моделирования представлены на рис. 4. Хорошо видно, что результаты моделирования схожи с предыдущей моделью. Но в данном случае модель показывает более резкий рост числа «зараженных» в первые сутки. За счет этого отклонение от исходных данных получается выше, чем в

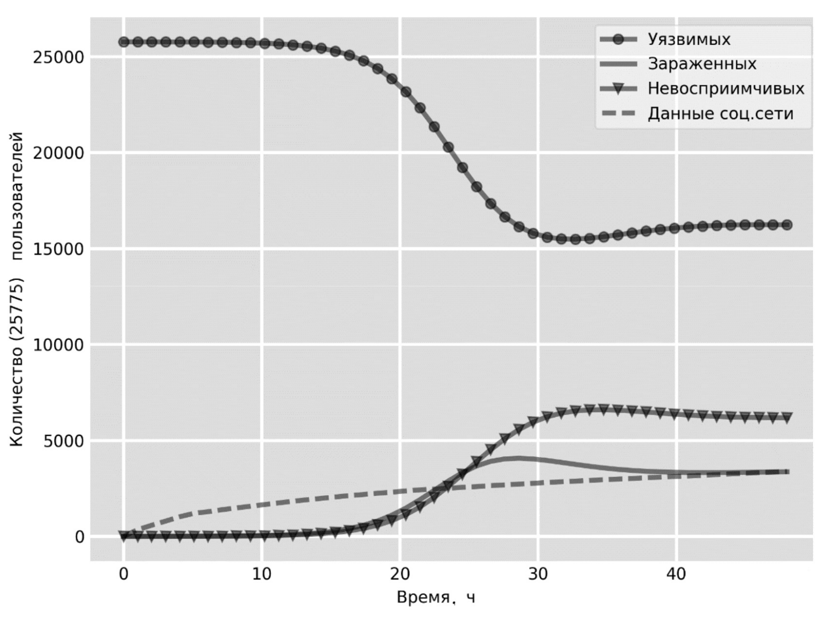

Рис. 4. Модель Далея-Кендалла

расширенной модели SIR.

Модели клеточного автомата

Простейшая модель клеточного автомата. Клеточный автомат – это дискретная динамическая система, включающая однородные клетки, соединенные друг с другом. Все клетки образуют клеточный автомат [5]. Состояние каждой клетки определяется клетками, находящимися в окрестности данной клетки. Набор «ближайших соседей» называется *окрестностью конечного автомата с номером j*. Состояние клеточного автомата j в момент времени $t + 1$ определяется следующим образом:

$$y_j(t+1) = F(y_j(t), O(j), T),$$

где F – правило, которое может быть выражено (например, в язык булевой алгебры), $O(j)$ – соседи, t – шаг.

Клеточный автомат определен следующими правилами:

- изменение значений каждой клетки происходит одновременно (шагом является изменение единицы времени);
- сеть клеточного автомата является однородной, т. е. правила изменения состояния одинаковы для всех ячеек;
- клетка может влиять только на клетки соседей;
- число состояний клетки конечно.

Теория клеточных автоматов используется для анализа диффузии инноваций. Этот процесс очень похож на распространение новостей в Интернете. Простейшая функция преобразования модели отвечает следующим правилам: индивидуум соответствует одной клетке, которая может принимать два состояния: 1 – новость принята, 0 – новость не принята. Предполагается, что однажды приняв информацию, состояние остается неизмененным. Автомат принимает решение о принятии новости, ориентируясь на мнение ближайших соседей: если среди соседей m поддержали инновацию и p – вероятность принятия новости (генерируется в ходе работы модели), тогда если $pm > R$, где R – фиксированное пороговое значение, клетка принимает инновацию. Кроме того, могут быть наложены дополнительные условия на тип новости: клетка располагает свежими новостями (черный цвет), у клетки находится устаревшая информация (серый цвет), клетка не располагает информацией или забыла о ней (белый цвет).

Правила распространения новости:

1) сначала каждая клетка закрашена белым цветом, кроме одной черной клетки (которая получила новость);

2) белая клетка может изменить цвет на

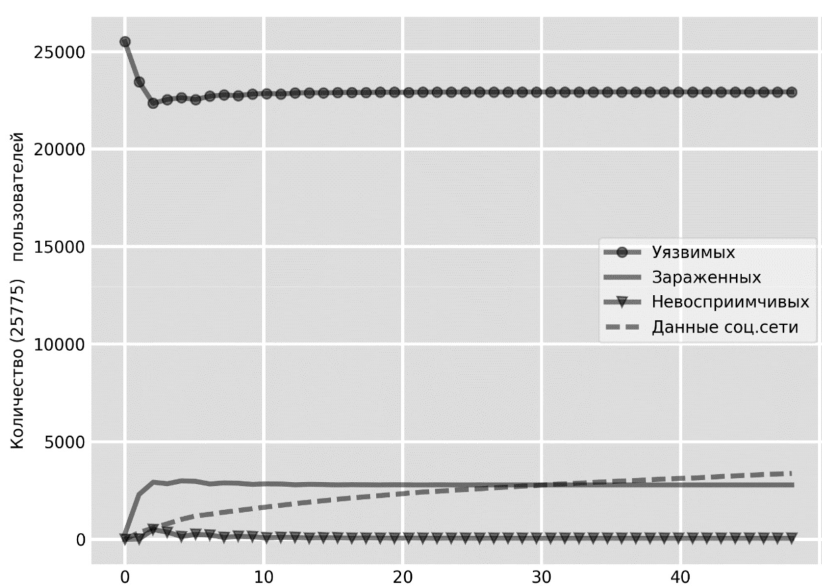

Рис. 5. Модель клеточного автомата

черный или остаться белой (это означает приняла новость или осталась в неведении);

3) белая клетка меняет свой цвет, если условие (1) выполняется в модели распространения диффузий (m – число черных клеток, если $m < 3$, то p увеличивается в 1,5 раза);

4) если ячейка черная и все ячейки вокруг только черные или серые, она меняет свой цвет на серый (новость устаревает);

5) если ячейка серая и ячейки вокруг только черные или серые, то она меняет свой цвет на белый (информация забыта).

На рис. 5 представлены результаты моделирования. Данная модель характеризует резкий рост числа «зараженных» агентов. Полученные данные неточно описывают исходную информацию, полученную из социальной сети.

Модель с порогами. Агент может находится в активном и неактивном состояниях, причем возможен переход только из неактивного состояния в активное (обратный переход не допускается). Если агент i испытывает влияние a_{ij} каждого своего j-го соседа в сети так, что выполняется условие $\sum_j a_{ij} \le 1$ (j – активный узел), и становится активным в зависимости от выбранного им порога $\varphi_i \in [0;1]$ (значение может быть фиксированным для всех агентов [10] или может быть выбрано случайным образом в соответствии с некоторым вероятностным распределением [11]), то условие активации $\sum_j a_{ij} \ge \varphi_i$ (j – активный узел) [12].

Модель, предствленная на рис. 6, смогла отразить рост «зараженных» пользователей на начальном этапе. После роста на начальном этапе (в первые сутки) данная модель приблизилась к пороговому значению и прекратила рост. Итоговый охват оказался далек от первоначальных данных.

Модель независимых каскадов. Данная модель принадлежит к моделям систем взаимодействующих частиц. Состояние агента определяется аналогично узлу в модели с порогами. Если агент i становится активным, то на следующем шаге (строго на следующем) он может активировать соседей с вероятностью p_{ij} [13].

Рисунок 7 отражает результаты моделирования. Можно сказать, что реальный охват был отражен более точно, по сравнению с предыдущей моделью. В моделировании роста на начальном этапе возникли отклонения с базисом.

Модель адаптивно-подражательного поведения (МАПП). МАПП рассмотрена в ра-

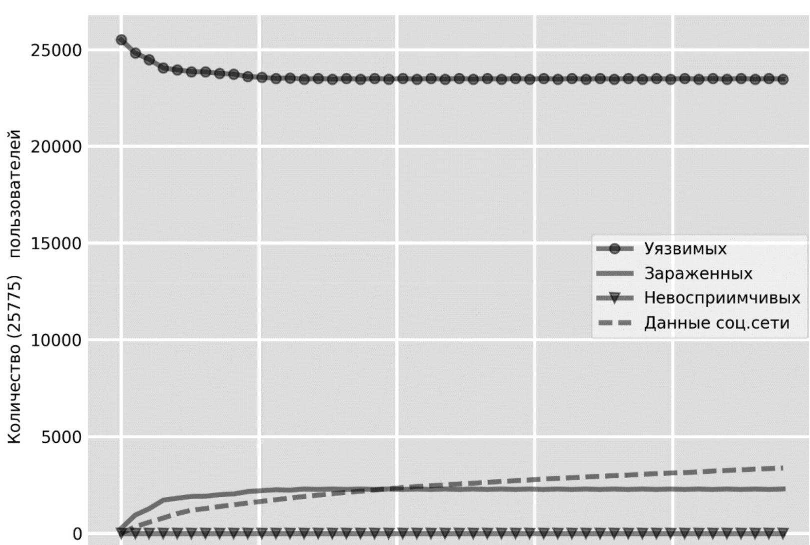

Рис. 6. Модель с порогами

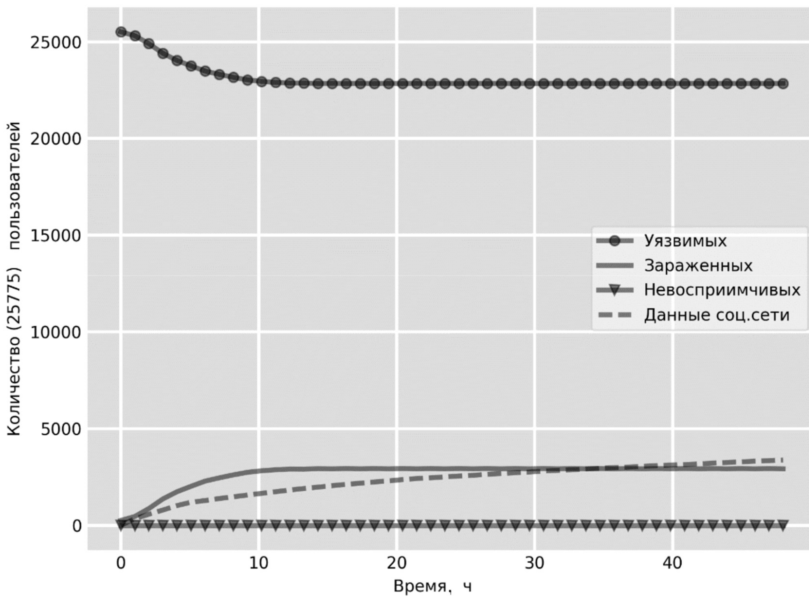

Рис. 7. Модель независимых каскадов

боте [13] и описана в рамках теории игр как $G = \langle J, f_j(\pi), j \in J, \pi \in \prod \rangle$, где J – множество стратегий участников игры, $\pi = (\pi_j)_{j \in J}$ – распределение игроков по стратегиям, $\prod = \left\{ \pi \mid \pi_j \geq 0, \sum_{j \in J} \pi_j = 1 \right\}$ – стандартный симплекс, $f_j(\pi)$ – выигрыш игроков, использующих стратегию *j*. На каждом шаге агент с индексом *i* с некоторой интенсивностью переходит в адаптивное состояние, при котором он пересматривает свое мнение (стратегию). В адаптивном состоянии агент *i* меняет свое мнение на мнение агента *k* в соответствии с вероятностью $q_{ik} = q_{ik}(f(\pi), \pi)$. Далее сравниваются альтернативная и текущая стратегии. Если выбранная для сравнения стратегия лучше

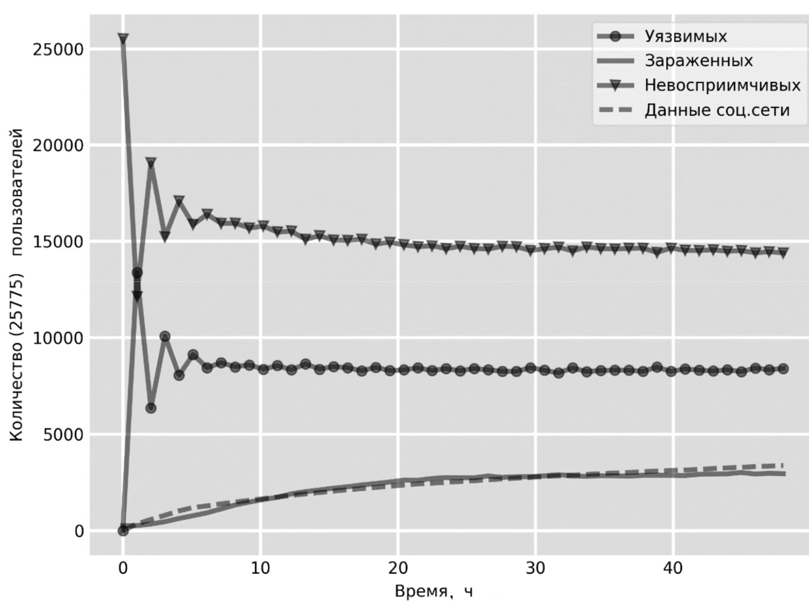

Рис. 8. Модель адаптивно-подражательного поведения (МАПП)

исходной (дает агенту больший выигрыш), то с вероятностью $\gamma_{ik} = \gamma_{ik}(f(\pi), \pi)$ игрок меняет свое мнение.

В ходе моделирования были получены данные, очень близкие к реальным, что детально отражено на графике (рис. 8).

Заключение

Исходя из результатов исследования можно сделать следующие выводы по каждому из типов моделей.

Модели SIR позволяют получить представление об охвате и количественном распределении информации (сколько всего агентов получило информацию), но не позволяют получить представление о каналах распространения информации.

Неприспособленность моделей SIR можно объяснить параметром «выздоровления». При сборе данных нет возможности исправить потерю актуальности новостью. Но такие модели подходят для предварительного подсчета охвата агентов сети. Это позволяет оценить перспективность распространения информации на первоначальном этапе.

Модели клеточного автомата сложны в реализации, их недостаток – длительное время вычисления значений каждого шага. В простейшем приближении не пригодны для моделирования, однако позволяют оценить каналы распространения информации.

Модели клеточного автомата планируется использовать для отражения роста охвата агентов и анализа каналов распространения информации. В результате исследования сделаны выводы о том, что модель адаптивно-подражательного поведения достаточно точно описывает исследуемый процесс. МАПП позволяет описать поведение каждого агента сети, учитывая социальный граф, а также связи между агентами. В данной модели присутствует возможность уточнения стратегий для каждого агента в отдельности, исходя из предпочтений и возможности влияния на агента.

Дальнейшим направлением исследования являются оценка информационного влияния в социальных сетях, изучение каналов распространения информации, возможность влияния на данные каналы, а также рост охвата за счет информационного влияния. Апробированные модели будут сформированы в виде программного пакета для анализа распространения информации в социальных сетях и оценки информационного влияния. Такое программное обеспечение является интересным с точки зрения маркетинга и бизнес-аналитики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Cha M., Haddadi H., Benevenuto F., Gummadi K.P.** Measuring User Influence in Twitter: The Million Follower Fallacy // ICWSM '10. 2010.

2. **Leskovec J., Backstrom L., Kleinberg J.** Meme-tracking and the dynamics of the news cycle // KDD '09. 2009.

3. **Hethcote H.W.** The mathematics of infectious diseases // SIAM Review. 2000. No. 42(4). Pp. 599–653.

4. **Башабшех М.М., Масленников Б.И., Скворцов А.В.** Комбинированная имитационная модель пространственного распространения эпидемических заболеваний по холере на основе вероятностного клеточного автомата // Науковедение. 2013. № 3 (16).

5. **John Von Neumann J., Burks A.W.** Theory of Self-Reproducing Automata. University of Illinois Press, Urbana and London, 1966.

6. **Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М.** Теория и практика эволюционного моделирования. М.: Физматлит, 2003. 432 с.

7. **Kermack W.O., McKendrick A.G.** A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics // Proc. of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 1927. No. 115 (772). 700 p. DOI:10.1098/rspa.1927.0118. JSTOR 94815.

8. **Daley D.J., Kendall D.G.** Stochastic rumors // J. Inst. Math. Appl. 1965. Vol. 142. Pp. 42–55.

9. **Isea R., Mayo-Garcнa R.** Mathematical analysis of the spreading of a rumor among different subgroups of spreaders // Pure and Applied Mathematics Letters. 2015. Pp. 50–54.

10. **Friedkin N.E.** Structural Cohesion and Equivalence Explanations of Social Homogeneity // Sociological Methods and Research. 1984. No. 12. Pp. 235–261.

11. **Васин А.А., Краснощеков П.С., Морозов В.В.** Исследование операций. М.: Академия, 2008.

12. **Робертс Ф.С.** Дискретные математические модели с приложениями к социальным,

биологическим и экологическим задачам. М.: Наука, 1986.

13. **Губанов Д.А.** Обзор онлайновых систем репутации/доверия // Интернет-конференция по проблемам управления. М.: ИПУ РАН, 2009. 25 с.

Статья поступила в редакцию 19.06.2017

REFERENCES

1. **Cha M., Haddadi H., Benevenuto F., Gummadi K.P.** Measuring User Influence in Twitter: The Million Follower Fallacy. *ICWSM '10*, 2010.

2. **Leskovec J., Backstrom L., Kleinberg J.** Meme-tracking and the dynamics of the news cycle. *KDD '09*, 2009.

3. **Hethcote H.W.** The mathematics of infectious diseases. *SIAM Review*, 2000, No. 42(4), Pp. 599–653, 2000.

4. **Bashabshekh M.M., Maslennikov B.I., Skvortsov A.V.** Kombinirovannaya imitatsionnaya model prostranstvennogo rasprostraneniya epidemicheskikh zabolevaniy po kholere na osnove veroyatnostnogo kletochnogo avtomata [Combined simulation model spatial distribution of epidemic diseases cholera based on probabilistic cellular automata]. *Naukovedeniye*, 2013, No. 3 (16). (rus)

5. **John Von Neumann J., Burks A.W.** *Theory of Self-Reproducing Automata*. University of Illinois Press, Urbana and London, 1966.

6. **Yemelyanov V.V., Kureychik V.V., Kureychik V.M.** *Teoriya i praktika evolyutsionnogo modelirovaniya* [*Theory and practice of evolutionary modeling*]. Moscow: Fizmatlit Publ., 2003, 432 p. (rus)

7. **Kermack W.O., McKendrick A.G.** A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 1927, No. 115 (772), 700 p. DOI:10.1098/rspa.1927.0118. JSTOR 94815

8. **Daley D.J., Kendall D.G.** Stochastic rumors. *J. Inst. Math. Appl.* 1965, Vol. 142, Pp. 42–55.

9. **Isea R., Mayo-Garcнa R.** Mathematical analysis of the spreading of a rumor among different subgroups of spreaders. *Pure and Applied Mathematics Letters*, 2015, Pp. 50–54.

10. **Friedkin N.E.** Structural Cohesion and Equivalence Explanations of Social Homogeneity. *Sociological Methods and Research*, 1984, No. 12, Pp. 235–261.

11. **Vasin A.A., Krasnoshchekov P.S., Morozov V.V.** *Issledovaniye operatsiy* [*Operations research*]. Moscow: Akademiya Publ., 2008. (rus)

12. **Roberts F.S.** *Diskretnyye matematicheskiye modeli s prilozheniyami k sotsialnym, biologicheskim i ekologicheskim zadacham* [*Discrete mathematical models with applications to social, biological and ecological problems*]. Moscow: Nauka Publ., 1986. (rus)

13. **Gubanov D.A.** Obzor onlaynovykh sistem reputatsii/doveriya [Review of online reputation / trust systems]. *Internet konferentsiya po problemam upravleniya* [*Internet Conference on Governance issues*]. Moscow: IPU RAN, 2009, 25 p. (rus)

Received 19.06.2017

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

ГОРКОВЕНКО Дмитрий Константинович
GORKOVENKO Dmitry K.
E-mail: gorkovenko.dmitry@gmail.com