УДК 621.396.41

Е.Б. Грибанова, И.Н. Логвин, И.В. Ширенков

Алгоритм оценки маркетинговых мероприятий онлайн-социальной сети «ВКонтакте» на основе каскадной модели распространения информации

Предложен алгоритм оценки показателя влияния маркетингового мероприятия в социальной сети «ВКонтакте» на основе каскадной модели распространения информации. Его реализация включает загрузку данных из социальной сети, моделирование распространения информации и решение оптимизационной задачи. В качестве примера рассмотрена оценка показателя влияния конкурса, проводимого в группе социальной сети.

Ключевые слова: социальная сеть, конкурс, каскадная модель, распространение информации, влияние.

doi: 10.21293/1818-0442-2018-21-3-69-74

В настоящее время в рамках Интернета возникают и растут сообщества пользователей, образующих онлайн-социальные сети. При этом всё больше компаний воспринимают социальные сети как партнёров по бизнесу, так как их можно использовать не только как корпоративный мессенджер, но и для продвижения своих товаров и услуг с целью привлечения потенциальных клиентов и увеличения продаж [1–3]. Среди наиболее популярных методов продвижения можно отметить проведение конкурса, покупку рекламы у сторонних групп (сообществ с большой аудиторией) или покупку рекламы у администраторов социальной сети [4]. Эффективность маркетингового мероприятия определяется количеством пользователей, получивших информацию о деятельности компании. В связи с этим моделирование степени распространения информации и оценка показателей влияния являются актуальной задачей.

Данная работа посвящена моделированию распространения информации в социальной сети «ВКонтакте» и оценке показателя влияния маркетинговых мероприятий. В качестве маркетингового мероприятия было рассмотрено проведение конкурсов в группах социальной сети, целью которых являются распространение среди пользователей информации о своей деятельности, а также повышение лояльности участников группы. Для участия в таких конкурсах пользователи социальной сети должны вступить в сообщество и разместить на своей странице информацию о рекламном мероприятии, сделав репост (оригинальное сообщение называется постом, а скопированное у другого участника – репостом). После окончания срока проведения конкурса происходит выбор победителя (победителей) заявленного приза. Популярность конкурсов обусловлена простотой их реализации для организаторов, так как они строятся на существующих технических возможностях социальных сетей, а затраты на их проведение связаны только со стоимостью заявленного приза. В свою очередь для пользователей участие в конкурсе не требует усилий и затрат времени.

О результатах маркетингового мероприятия позволяет судить в том об числе увеличении числа подписчиков группы [5].

Результаты опроса

В ходе исследования был проведен опрос пользователей социальной сети «ВКонтакте», в котором приняло участие 158 респондентов. С помощью инструмента Google формы пользователям было предложено оценить влияние на их участие в конкурсе по десятибалльной шкале каждого из четырех факторов: стоимость разыгрываемого приза, необходимость разыгрываемого приза, количество выигрышных позиций, участие в розыгрыше друзей. Медианные значения полученных величин представлены на рис. 1. Таким образом, наибольшая оценка была присвоена показателям «необходимость разыгрываемого приза для человека» и его «стоимость». При этом участие в розыгрыше друзей оказывает наименьшее влияние на пользователя. На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что участие в конкурсе пользователей определяется характеристиками самого маркетингового мероприятия.

Рис. 1. Медианные значения важности показателей

Модели распространения информации

Существуют две основные модели распространения информации в сети: независимая каскадная и линейная пороговая [5–7]. Процесс распространения представлен в виде последовательности шагов, на которых выполняется активирование вершин, заключающееся в изменении их статуса с неактивного на активный (активный статус подразумевает передачу информации связанным вершинам). При активации происходит сравнение двух показателей: порогового значения Th , устанавливаемого для каж-

дой вершины, и вероятности влияния p , которая определяется для связывающих узлов ребер. Независимая каскадная модель основана на переборе активированных на предыдущем шаге узлов, каждый из которых может активировать неактивного соседа с вероятностью влияния $p \in [0;1]$. При успешной активации статус вершины меняется с неактивного на активный. В линейной пороговой модели осуществляется перебор неактивных узлов, которые на очередном шаге могут быть активированы активными узлами сети. Влияние активных узлов выражается суммой вероятностей влияния. Если данная сумма превышает пороговое значение вершины, статус узла u изменяется с неактивного на активный.

Среди существующих работ по моделированию распространения информации и оценке показателей влияния можно отметить следующие.

В источнике [8] приведены алгоритмы, имитирующие обход графа с помощью каскадной и линейной пороговой модели. Данные алгоритмы носят наименование C-Loop, T-Loop и E-Loop. В первом алгоритме выполняется перебор активных узлов, во втором – неактивных узлов, а в третьем – ребер графа.

Авторами [9] предложена IC-N модель, или каскадная модель с негативными мнениями. Узлы графа данной модели характеризуются нейтральным, позитивным, а также негативным состояниями. Такие состояния являются отражением пользовательских мнений о рассматриваемой продукции. Кроме того, продвижение информации через соответствующие вершины графа приводит либо к отказу, либо к выполнению покупки покупателями. Пороговая модель с «цветными» узлами графа рассмотрена в работе [10]. Типы узлов выступают в качестве определителей вида поведения участников в сети. В качестве вида поведения представлены «потребители» и «рассказчики», являющиеся распространителями положительных и негативных мнений о продукции.

В работе [11] выполнено исследование показателя влияния в социальной сети Twitter. Для расчета данного показателя произведены выгрузка истории распространения сообщения, а также порядок его размещения на страницах. Рассмотрены различные схемы формирования показателя в зависимости от очередности размещения сообщения на страницах друзей пользователя.

В работе [12], опираясь на исторические данные, анализируется продвижение информации по социальной сети и выдвигается такое предположение: положительная реакция одного пользователя на какую-либо информацию или запись (лайки, репосты или комментарии) зачастую провоцирует другого пользователя оказать ответную реакцию.

В [13] выполнен анализ влияния пользователей Twitter с использованием трех показателей: число подписчиков, ретвитов и упоминаний другими пользователями. Отмечено, что число подписчиков характеризует популярность участника, количество ретвитов – ценность публикуемой информации, а частые упоминания имени свойственны для знаменитостей.

Работа [14] посвящена исследованию влияния участников при распространении контента в социальной сети Second Life. В частности, был сделан вывод, что скорость выбора рассматриваемого контента зависит от его использования друзьями пользователя.

В статье [15] предложен метод оценки影响力的 пользователей социальной сети с точки зрения некоторого управляющего центра, который определяет значимость действий её агентов.

В данной работе была использована независимая каскадная модель, так как механизм распространения информации при её использовании более всего соответствует выбранной схеме активации при заданном значении вероятности влияния, которая не делится между участниками сети. Кроме того, её реализация является менее трудоемкой по сравнению с линейной пороговой моделью: список активированных на предыдущем шаге вершин, как правило содержит меньше элементов, чем список неактивных вершин, а также в независимой каскадной модели отсутствует необходимость определения показателя влияния в соответствии с установленным ограничением (суммарное значение меньше 1).

В качестве узлов сети выступают пользователи онлайн-социальной сети «ВКонтакте», которых можно однозначно определить по идентификатору (id). На рис. 2, а представлен пример распространения информации (использованы три первые цифры id), под активацией вершины здесь понимается репост рекламного сообщения о проведении конкурса. Поскольку при реализации маркетингового мероприятия масштаб распространения информации определяется в большей степени характеристиками самой акции, то значения вероятности влияния будут одинаковы для всех ребер. Так, на рис. 2, б показан вариант передачи сообщения при показателе влияния, равном 0,35. На первом шаге рассматриваются подписчики группы. Если пороговое значение меньше показателя влияния, то узел активируется (будут активированы вершины с пороговыми значениями 0,2 и 0,3). На следующем шаге рассматриваются узлы, связанные с активированными вершинами (узел с пороговым значением 0,2 активирует вершину с пороговым значением 0,1). На последнем шаге узел с пороговым значением 0,1 не активирует ни одной вершины, и процесс распространения информации завершается. В ходе рассматриваемого мероприятия число подписчиков группы увеличилось на 1.

Исследование схем распространения информации при проведении конкурсов показало, что доля участников группы, сделавших репост записи, превышает долю пользователей, сделавших репост записи со страниц своих друзей. Это объясняется в том числе заинтересованностью существующих участников в характере деятельности группы. Вследствие этого можно выделить два показателя влияния маркетингового мероприятия: влияние на собственную аудиторию группы (p_1) и влияние на

сторонних пользователей (p_2). На рис. 2, *в* показател p_1 равен 0,35, а показатель p_2 – 0,15.

Рис. 2. Распространение информации в сети – *а*.
Использование независимой каскадной модели – *б*.
Различные вероятности для разных уровней элементов – *в*

Алгоритм решения задачи

Цель данной работы заключается в разработке алгоритма и реализации программы моделирования распространения информации в сети заданной структуры и оценке показателя влияния маркетингового мероприятия.

Алгоритм решения задачи включает следующие шаги:

Шаг 1. Сбор id участников сообщества до проведения маркетингового мероприятия.

Шаг 2. Загрузка истории реальных репостов и структуры сети, в которой осуществляется распространение информации.

Шаг 3. Моделирование распространения информации.

Шаг 4. Решение оптимизационной задачи с целью определения показателя влияния.

Для реализации шагов алгоритма была разработана программа на языке Java, которая использует методы API «ВКонтакте» и формирует Excel-таблицу с реальными и модельными значениями показателей. Создание формул позволяет решать оптимизационные задачи средствами Excel, проверять гипотезы «что будет, если...», например, оценивать степень распространения информации при различных показателях влияния.

На первом шаге посредством обращения к методам API «ВКонтакте» происходит получение списка id подписчиков сообщества до проведения маркетингового мероприятия, полученные значения выгружаются в файл.

На следующих двух шагах происходит формирование таблицы на основе данных файла, сформированного на первом этапе, информации из социальной сети, получаемой с помощью методов API «ВКонтакте», и формул, созданных программным приложением.

Для формирования схемы распространения реальных репостов программой выполняются следующие действия:

1. Загрузка в Excel-файл id участников группы до проведения маркетингового мероприятия (название листа соответствует названию группы).

2. Загрузка в массив **rep** из социальной сети id участников, разместивших информацию на своей странице.

3. Создание для каждого элемента из массива **rep** листа таблицы с названием, соответствующим id участника, сделавшего репост. Столбец созданного листа заполняется значениями id друзей пользователя.

4. Заполнение на всех листах столбца со значениями признака реального репоста r : величина устанавливается равной 1, если участником с соответствующим id был сделан репост со страницы другого пользователя или группы, 0 – в противном случае. Заполненные репосты удаляются из массива **rep**.

5. Проверка наличия элементов в массиве **rep**: если **rep** содержит id участников, то это означает, что пользователем, не состоявшим ранее в сообществе, был сделан репост записи со страницы группы. В этом случае проверяется возможность получения информации от друзей участников: осуществляется перебор листов и признак репоста устанавливается в первой строке, где был обнаружен id участника из массива **rep**.

На рис. 3 представлен пример таблиц для случая распространения информации, приведенного на рис. 2, *б*.

Рис. 3. Таблицы со схемой распространения репостов

Далее выполняется расчет следующих значений показателей (формулы создаются в Excel автоматически с помощью программного приложения Java).

Пороговые значения Tu : для каждого листа генерируется массив случайных чисел, равный числу элементов таблицы, при этом для участников с признаком реального репоста, равным 1, записываются минимальные из сгенерированных значений.

Признак возможности активации a (равен 1, если вершины, связанные с узлом, могут быть активированы, 0 – в противном случае): для участников сети активация возможна в том случае, если есть хотя бы одна активированная соседняя вершина. Так, на рис. 2, a каждый из друзей участника с id 789 может сделать репост с его страницы, поскольку им была размещена информация, а у друга участника с id 342 такой возможности нет. Для определения величины признака формируется формула со ссылками на модельные значения признака репоста участника: если хотя бы у одной связанной с текущим узлом вершины модельное значение репоста равно 1, текущий узел может быть активирован.

Модельное значение репоста r^* пользователя для каждого участника сообщества определяется по формуле

$$r^* = \begin{cases} 1, & \text{если } p \geq Tu, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Для остальных пользователей необходимо учесть возможность активации:

$$r^* = \begin{cases} 1, & \text{если } p \geq Tu \text{ и } a = 1, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

При разделении вероятности влияния в зависимости от принадлежности к участникам сообщества (см. рис. 2, $в$) определение показателя p осуществляется следующим образом:

- для участников группы: $p = p_1$;
- для остальных пользователей сети: $p = p_1 \cdot t = p_2$ (t – коэффициент уменьшения показателя влияния).

Абсолютная величина ошибки v определяется как квадрат разницы между признаком репоста и модельным значением признака репоста:

$$v = (r - r^*)^2.$$

Также вычисляются доля и средняя доля участников, сделавших репост [5].

На рис. 4 приведен пример связи таблиц и модельных значений показателей для случая, рассмотренного на рис. 2, $б$. Блок представляет собой фрагмент таблицы с значениями id , случайным образом сгенерированной пороговой величиной, модельным значением репоста и показателем возможности активации. Стрелками указаны ссылки на ячейки, которые используются для определения признака возможности активации. Так, например, признак возможности активации для участников с id 405 и 734 будет равен 1, если модельное значение репоста в таблице «Group», соответствующее участнику-подписчику с id 789, равно 1.

Рис. 4. Таблицы с модельными значениями показателей

На последнем шаге происходит решение задачи оптимизации с целью определения показателя влияния. Задача заключается в подборе показателя влияния таким образом, чтобы реальная и модельная схемы распространения информации наилучшим образом соответствовали друг другу:

$$f(p) = \sum_{i=1}^n (r_i(p) - r_i^*(p))^2 \rightarrow \min, \quad 0 \leq p \leq 1;$$

$$\sum_{j=1}^{m_k} r_j^*(p) \leq \sum_{j=1}^{m_k} r_j(p). \quad (1)$$

где p – показатель влияния маркетингового мероприятия; $r_i(p)$ – признак репоста; $r_i^*(p)$ – модельное значение признака репоста; n – число участников в рассматриваемой сети; m_k – число записей k -го листа таблицы.

Последнее условие означает, что для каждого листа таблицы суммарное значение признака реального репоста должно быть равно или больше, чем суммарное значение признака модельного репоста. Это связано с загрузкой из социальной сети только тех элементов, которые были использованы при реальном распространении информации (сведения об элементах, которые могут быть задействованы в случае, если репост будет совершен другими пользователями, отсутствуют в программе).

Также вместо ограничения (1) может быть введен штраф в случае, если значение признака модельного репоста превышает величину признака реального репоста:

$$f(p) = \sum_{i=1}^n \left(r_i(p) - r_i^*(p) \right)^2 + h_i^* \rightarrow \min, \quad 0 \leq p \leq 1;$$

$$h_i^* = \begin{cases} h_i, & \text{если } r_i^*(p) > r_i(p), \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где h_i – величина штрафа в случае, если значение признака модельного репоста превышает величину признака реального репоста; h_i^* – вычисленная величина штрафа для i -го участника.

Пример решения задачи моделирования

Для решения задачи моделирования была использована информация об участниках группы социальной сети «ВКонтакте» «BitStreet. Чехлы и аксесуары в Академгородке». До проведения конкурса группа насчитывала 726 подписчиков, в ходе проведения мероприятия 19 пользователей сделали репост записи с рекламным сообщением. Структура исследуемой сети включала 6448 элементов.

В таблице представлены результаты моделирования для десяти случайных реализаций. На рис. 5 приведены значения показателей влияния p_1 (для подписчиков группы) и t (коэффициент уменьшения). Величина абсолютной ошибки во всех случаях за исключением последней реализации получилась равной 7 (в последней реализации значение равно 8).

Результаты моделирования

Номер реализации	Показатель влияния, p	Ошибка, v	Средняя доля участников, сделавших репост
1	0,0008	24	0,0087
2	0,0020	25	0,0131
3	0,0019	25	0,0131
4	0,0012	24	0,0087
5	0,0012	26	0,0262
6	0,0029	25	0,0262
7	0,0012	25	0,0131
8	0,0012	26	0,0262
9	0,0018	24	0,0087
10	0,0012	25	0,0131

Рис. 5. Значение показателя влияния и коэффициента его уменьшения

Заключение

В статье предложен алгоритм оценки показателя влияния маркетингового мероприятия на основе каскадной модели распространения информации в сети, который включает загрузку данных социальной сети, расчет модельных значений показателей и решение оптимизационной задачи, где искомым показателем подбирается таким образом, чтобы минимизировать ошибку для наилучшего соответствия модельной схемы распространения информации реальной. Реализация алгоритма выполнена с помощью языка Java, для хранения данных о маркетинговом мероприятии и решения задачи моделирования использован табличный процессор Microsoft Excel. Рассмотрен пример оценки конкурса в группе социальной сети «ВКонтакте» с помощью данного алгоритма.

Предложенный алгоритм может быть использован для оценки и прогнозирования показателей распространения информации при проведении маркетинговых мероприятий в социальной сети.

Литература

1. Goyal S. Social networks and the firm / S. Goyal, J. Gagnon // Revista de Administracao. – 2016. – Vol. 51. – P. 240–243.
2. David A. Pricing strategies for viral marketing on social networks / A. David, M. Rajeev, S. Aneesh, X. Ying // Internet and Network economic. – 2009. – Vol. 5929. – P. 101–112.
3. Galeotti A. Influencing the influencers: a theory of strategic diffusion / A. Galeotti, S. Goyal // Rand Journal of economics. – 2009. – Vol. 40. – P. 509–532.
4. Грибанова Е.Б. Модель оценки групп социальной сети для реализации маркетинговых мероприятий / Е.Б. Грибанова, А.В. Катасонова // Доклады ТУСУР. – 2017. – № 2. – С. 68–72.
5. Грибанова Е.Б. Алгоритмы моделирования распространения информации при маркетинговых мероприятиях в группах онлайн-социальной сети // Проблемы управления. – 2018. – № 1. – С. 66–73.
6. Wang Q. Energy Saving Information Cascades In Online Social Networks: An Agent-Based Simulation Study / Q. Wang, J. Taylor // Proc. of the 2013 Winter Simulation Conference. – 2013. – P. 3042–3050.
7. Modeling the spread of influence on the blogosphere / A. Java, P. Kolari, T. Finin, T. Oates // Proc. of the 15-th International World Wide Web Conference. – 2006. – P. 1–7.
8. HPC Simulations of Information Propagation over Social Networks / J. Jin, S. Turner, B. Lee, J. Zhong, H. Bing-sheng // Procedia Computer Science. – 2012. – Vol. 9. – P. 292–301.
9. Influence maximization in social networks when negative opinions may emerge and propagate / W. Chen, A. Collins, R. Cummings et al. // Proc. of the 2011 SIAM International Conference on Data Mining. – 2011. – P. 379–390.
10. Bhagat S. Maximizing product adoption in social networks / S. Bhagat, A. Goyal, L. Lakshmanan // Proc. of the 5-th ACM International Conference on Web Search and Data Mining. – 2012. – P. 603–612.
11. Everyone's an Influencer: Quantifying Influence on Twitter / E. Bakshy, J. Hofman, W. Mason, D. Watts // Proc. of the 4-th International Conference on Web Search and Web Data Mining. – 2011. – P. 1–10.

12. Торопов Б.А. Модель независимых каскадов распространения репоста в онлайн-социальной сети // Кибернетика и программирование. – 2016. – № 5. – С. 61–67.
13. Measuring user influence in Twitter: the million follower fallacy / M. Cha, H. Haddadi, F. Benevenuto, K. Gummadi // Proc. of the fourth international AAAI conference on weblogs and social media. – 2010. – P. 10–17.
14. Bakshy E. Social influence and the diffusion of user-created content / E. Bakshy, B. Karrer, L. Adamic // Proc. of the tenth ACM conference on Electronic commerce. – 2009. – P. 325–334.
15. Губанов Д.А. Влиятельность пользователей и метапользователей социальной сети / Д.А. Губанов, А.Г. Чхартишвили // Проблемы управления. – 2016. – № 6. – С. 12–17.

Грибанова Екатерина Борисовна

Канд. техн. наук, доцент каф. автоматизированных систем управления (АСУ) Томского государственного ун-та систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-36
Эл. почта: katag@yandex.ru

Логвин Игорь Николаевич

Студент каф. АСУ, ТУСУР
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-36
Эл. почта: igor31821788@gmail.com

Ширенков Иван Витальевич

Магистрант каф. АСУ, ТУСУР
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-36
Эл. почта: ivanshirenkov@gmail.com

Gribanova E.B., Logvin I.N., Shirenkov I.V.

Algorithm for evaluating the marketing activities of the online social network Vkontakte based on the cascade model of information dissemination

The article considers the algorithm for assessing the impact of marketing activities in the social network Vkontakte using a cascade model of information dissemination. Its implementation involves loading data from social networks, modeling the spread of information and the solution of the optimization problem. As an example, the evaluation of the impact of the drawing in the social network group is considered.

Keywords: social network, competition, cascade model, information dissemination, influence.

doi: 10.21293/1818-0442-2018-21-3-69-74

References

1. Goyal S., Gagnon J. Social networks and the firm. *Revista de Administracao*, 2016, vol. 51, pp. 240–243.
2. David A., Rajeev M., Aneesh S., Ying X. Pricing strategies for viral marketing on social networks. *Internet and Network economic*, 2009, vol. 5929, pp. 101–112.
3. Galeotti A., Goyal S. Influencing the influencers: a theory of strategic diffusion. *Rand Journal of economics*, 2009, vol. 40, pp. 509–532.
4. Gribanova E.B., Katasonova A.V. The model to evaluate social network groups for the implementation of marketing

activities. *Proceedings of TUSUR University*, 2017, no. 2, pp. 68–72.

5. Gribanova E.B. Algorithms of modeling of marketing activities on the social network group using the cascade model. *Control sciences*, 2018, no. 1, pp. 66–73 (In Russ.).

6. Wang Q., Taylor J. Energy Saving Information Cascades In Online Social Networks: An Agent-Based Simulation Study. *Proc. of the 2013 Winter Simulation Conference*, 2013, pp. 3042–3050.

7. Java A., Kolari P., Finin T., Oates T. Modeling the spread of influence on the blogosphere. *Proc. of the 15-th International World Wide Web Conference*, 2006, pp. 1–7.

8. Jin J., Turner S., Lee B., Zhong J., Bingsheng H. HPC Simulations of Information Propagation over Social Networks. *Procedia Computer Science*, 2012, vol. 9, pp. 292–301.

9. Chen W., Collins A., Cummings R. et al. Influence maximization in social networks when negative opinions may emerge and propagate. *Proc. of the 2011 SIAM International Conference on Data Mining*, 2011, pp. 379–390.

10. Bhagat S., Goyal A., Lakshmanan L. Maximizing product adoption in social networks. *Proc. of the 5-th ACM International Conference on Web Search and Data Mining*, 2012, pp. 603–612.

11. Bakshy E., Hofman J., Mason W., Watts D. Everyone's an Influencer: Quantifying Influence on Twitter. *Proc. of the 4-th International Conference on Web Search and Web Data Mining*, 2011, pp. 1–10.

12. Toropov B.A. Model of independent cascades of repost distribution in the online social network. *Cybernetics and programming*, 2016, no. 5, pp. 61–67 (In Russ.).

13. Cha M., Haddadi H., Benevenuto F., Gummadi K. Measuring user influence in Twitter: the million follower fallacy. *Proc. of the Fourth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*, 2010, pp. 10–17.

14. Bakshy E., Karrer B., Adamic L. Social influence and the diffusion of user-created content. *Proc. of the tenth ACM Conference on Electronic Commerce*, 2009, pp. 325–334.

15. Gubanova D.A., Chkhartishvili A.G. Influence of users and users of the social network. *Control sciences*, 2016, no. 6, pp. 12–17 (In Russ.).

Ekaterina B. Gribanova

Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Department of Automated Control System, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR) 40, Lenina pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 (382-2) 70-15-36
Email: katag@yandex.ru

Igor N. Logvin

Student, Department of Automated Control System, TUSUR 40, Lenina pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 (382-2) 70-15-36
Email: igor31821788@gmail.com

Ivan V. Shirenkov

Master student, Department of Automated Control System, TUSUR 40, Lenina pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 (382-2) 70-15-36
Email: ivanshirenkov@gmail.com