

УДК 004.9

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СЕРВИСОВ МОНИТОРИНГА  
СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ В ТЕРМИНАХ ТЕОРИИ МАССОВОГО  
ОБЛУЖИВАНИЯ**

**Воронин Д.Ю.**

*К.т.н., доцент кафедры «Информационные технологии и компьютерные системы»,*

*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,*

*РФ, г. Севастополь*

**Скатков А.В.**

*д.т.н., профессор кафедры «Информационные технологии и компьютерные системы»,*

*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,*

*РФ, г. Севастополь*

**Кузнецов П.Н.**

*К.т.н., доцент кафедры «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети»,*

*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,*

*РФ, г. Севастополь*

**Аннотация.** Современные информационно-телекоммуникационные сети включают разнообразные коммуникационные средства для образования социальных связей между абонентами. Интересной особенностью социальных сетей является то, что объем подтвержденных дружеских связей с одной стороны позволяет распространять идеи и мнения, а с другой – формируют уязвимость перед внешними информационными воздействиями. Возникает задача оценки чувствительности пользователей к восприимчивости чужих идей, а также к мониторингу социальной корреляции с другими пользователями и локализации акторов в рамках определенных сообществ. В работе описан параметрический синтез сервисов мониторинга в терминах теории массового обслуживания и анализ структур многоканальной процессорной системы для мониторинга социальных сетей. Предлагается аналитическая модель функционирования такой системы, критерии оценки эффективности результатов её работы. Приводится пример вариационного анализа различных структур многоканальной системы.

**Ключевые слова:** анализ социальных сетей, методы принятия решений, умный город, системы массового обслуживания, параметрический синтез, устойчивое развитие, цифровая трансформация

**PARAMETRIC SYNTHESIS OF SOCIAL NETWORK MONITORING  
SERVICES IN TERMS OF MASS SERVICE THEORY**

**Voronin D.Yu.**

*Ph.D., Associate Professor, Department of Information Technology and Computer Systems,  
Sevastopol State University,  
Russian Federation, Sevastopol*

**Skatkov A.V.**

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Information Technology and Computer Systems,  
Sevastopol State University,  
Russian Federation, Sevastopol*

**Kuznetsov P.N.**

*Ph.D., Associate Professor, Department of Renewable Energy and Electrical Systems and Networks,  
Sevastopol State University,  
Russian Federation, Sevastopol*

**Abstract** Modern information and telecommunication networks include a variety of communication tools for the formation of social relations between subscribers. An interesting feature of social networks is that the volume of confirmed friendships, on the one hand, allows the dissemination of ideas and opinions, and on the other hand, forms a vulnerability to external information influences. The problem arises of assessing the sensitivity of users to the receptivity of other people's ideas, as well as monitoring social correlation with other users and localization of actors within certain communities. The paper describes the parametric synthesis of monitoring services in terms of the theory of mass tinning and analysis of the structures of a multi-channel processor system for monitoring social networks. An analytical model of the functioning of such a system, criteria for evaluating the effectiveness of the results of its work are proposed. An example of a variational analysis of various structures of a multichannel system is given.

**Keywords:** analysis of social networks, decision-making methods, smart city, queuing systems, parametric synthesis, sustainable development, digital transformation

В настоящее время, социальные медиа включают разнообразные коммуникационные средства для образования связей между пользователями. В [1] утверждается, что особенностью социальных сетей является то, что объем подтвержденных дружеских связей с одной стороны позволяет распространять идеи и мнения, а с другой – формируют уязвимость перед внешними информационными воздействиями. Возникает задача оценки чувствительности

пользователей к восприимчивости чужих идей, а также к мониторингу социальной корреляции с другими пользователями и локализации акторов в рамках определенных сообществ [2]. Актуальной становится задача параметрического синтеза сервисов мониторинга в терминах теории массового обслуживания для мониторинга социальных сетей. В современной вычислительной технике остро стоит проблема анализа и синтеза систем мониторинга, т.е. разработка структуры сервисов мониторинга в зависимости от специфики анализируемого объекта. Важным шагом является разработка математического аппарата для вариационного анализа структур таких систем.

Одним из важных признаков является инициатор запуска сервисов мониторинга. Инициатором мониторинга может выступать непосредственно сам наблюдаемый узел, а может и администратор (система) мониторинга. Процессы передачи информации иницируются в двух разных случаях различными объектами. В первом – узлом сети, во втором – системой мониторинга. Если использовать термины теории массового обслуживания [3], то в случае инициации процесса передачи данных самим узлом сети, имеет место открытая (разомкнутая) система массового обслуживания. В этой системе интенсивность поступления заявок в систему не зависит от текущего состояния системы. Также в системе могут присутствовать заявки от одного и того же источника заявок. При инициации передачи данных узлом, в пакете сохраняется некоторая информация об источнике, например, его адрес. Для использования описанной системы в стационарном режиме необходимо, чтобы время съема и отправки данных для мониторинга было соизмеримо со временем обработки информационных пакетов в системе мониторинга, в противном случае в системе будет наблюдаться нестационарный режим.

В случае если инициатором процесса передачи данных выступает система мониторинга, то речь идет о замкнутой системе массового обслуживания. Такая система характеризуется жесткой структурой, интенсивность поступления заявок зависит от текущего состояния системы и источник заявок прекращает

Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

генерацию заявок до тех пор, пока его предыдущая сгенерированная им заявка не будет обработана и удалена из системы. В данном случае нет жестких ограничений на соотношение времени съема и отправки данных для мониторинга узлом и времени их обработки системой мониторинга.

Рассмотрим организацию обеих моделей систем массового обслуживания на примере структуры системы мониторинга социальной сети для случая:  $Q$  узлов сети, емкость буферного накопителя –  $K$  информационных пакетов. Пусть мониторинг инициируется узлом сети, тогда имеет место разомкнутая система массового обслуживания. Для формирования модели системы мониторинга определим множество возможных состояний. Т.к. произошел переход от описания структуры системы мониторинга к описанию модели в терминах ТМО, то в дальнейшем будем использовать следующие логические связки: процессор — канал, буфер — очередь, информационный пакет — заявка, система мониторинга — система. Состояния системы будем нумеровать по числу заявок, находящихся в системе:

$S_0$  — в системе не находится ни одной заявки;

$S_1$  — в системе находится одна заявка (один канал занят, очередь пуста);

$S_2$  — в системе находится две заявки (два канала заняты, очередь пуста);

...

$S_{N-1}$  — в системе находится  $N-1$  заявка ( $N-1$  канал занят, очередь пуста);

$S_N$  — в системе находится  $N$  заявок (все  $N$  каналов заняты, очередь пуста);

$S_{N+1}$  — в системе находится  $N+1$  заявка (все  $N$  каналы заняты, в очереди одна заявка);

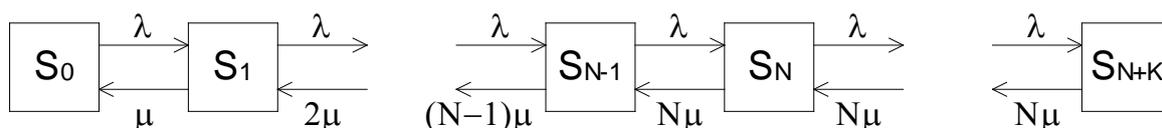
$S_{N+2}$  — в системе находится  $N+2$  заявка (все  $N$  каналы заняты, в очереди две заявки);

...

$S_{N+K-1}$  — в системе находится  $N+K-1$  заявки (все  $N$  каналов заняты, в очереди  $K-1$  заявка);

$S_{N+K}$  – в системе находится  $N+K$  заявок (все  $N$  каналов заняты, очередь заполнена).

Все заявки, поступившие в тот момент, когда система находится в состоянии  $S_{N+K}$ , теряются. Пусть интенсивность поступления заявок в систему равна  $\lambda = \sum_{i=1}^Q \lambda_i$ , где  $\lambda_i$  — интенсивность поступления заявок от  $i$ -го узла сети, а среднее время обработки заявки в любом канале —  $\mu$ . На рисунке 2 представлен размеченный граф состояний.



**Рис. 2** Граф состояний разомкнутой СМО

В соответствии с уравнениями Колмогорова для графа состояний, изображенного на рисунке 2, можно записать систему дифференциальных уравнений (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_0}{dt} = \mu p_1 - \lambda p_0; \\ \frac{dp_1}{dt} = \lambda p_0 + 2\mu p_2 - (\lambda + \mu) p_1; \\ \dots \\ \frac{dp_{N-1}}{dt} = \lambda p_{N-2} + N\mu p_N - (\lambda + (N-1)\mu) p_{N-1}; \\ \frac{dp_N}{dt} = \lambda p_{N-1} + N\mu p_N - (\lambda + N\mu) p_N; \\ \dots \\ \frac{dp_{N+K}}{dt} = \lambda p_{N+K-1} - N\mu p_{N+K}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Предположим, что в системе наблюдается стационарный режим, тогда существуют финальные вероятности нахождения системы в соответствующих состояниях. Если финальные вероятности постоянны, то их производные равны

нулю, тогда от системы дифференциальных уравнений (1) можно перейти к системе алгебраических уравнений (2).

$$\begin{cases} \lambda p_0 = \mu p_1; \\ (\lambda + \mu) p_1 = \lambda p_0 + 2\mu p_2; \\ \dots \\ (\lambda + (N-1)\mu) p_{N-1} = \lambda p_{N-1} + N\mu p_N; \\ (\lambda + N\mu) p_N = \lambda p_{N-1} + N\mu p_N; \\ \dots \\ N\mu p_{N+K} = \lambda p_{N+K-1}. \end{cases} \quad (2)$$

Так как уравнения в систему уравнений (2) однородны, то воспользуемся нормировочным условием:  $p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + \dots + p_{N+K} = 1$  и с его помощью решим систему уравнений (2). При этом из исходной (2) отбросим одно из уравнений, получаем систему уравнений (3).

$$\begin{cases} \lambda p_0 = \mu p_1; \\ (\lambda + \mu) p_1 = \lambda p_0 + 2\mu p_2; \\ \dots \\ (\lambda + (N-1)\mu) p_{N-1} = \lambda p_{N-1} + N\mu p_N; \\ (\lambda + N\mu) p_N = \lambda p_{N-1} + N\mu p_N; \\ \dots \\ (\lambda + N\mu) p_{N+K-1} = \lambda p_{N+K-2} + N\mu p_{N+K}; \\ p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + \dots + p_{N+K} = 1. \end{cases} \quad (3)$$

Решением системы уравнений (3) будут финальные вероятности нахождения системы в соответствующих состояниях, которые можно интерпретировать как среднее относительное время пребывания системы в соответствующем состоянии. Решение для такого случая уже получено в общем виде выражения (4).

$$\left\{ \begin{array}{l} p_0 = \left(1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{N!} + \frac{\rho / N - (\rho / N)^{K+1}}{1 - \rho / N}\right)^{-1}; \\ p_1 = \frac{\rho}{1!} p_0; \\ \dots \\ p_N = \frac{\rho^N}{N!} p_0; \\ \dots \\ p_{N+K} = \frac{\rho^{N+K}}{N^K N!} p_0, \end{array} \right. \quad (4)$$

где  $\rho = \lambda / \mu$ .

Таким образом, все вероятности состояний могут быть найдены из (4).

Определим некоторые характеристики эффективности обслуживания.

Вероятность отказа в обслуживании заявки

$$P_{отк} = p_{N+K} = \frac{\rho^{N+K}}{N^K N!} p_0. \quad (5)$$

Среднее число занятых каналов

$$\bar{z} = \rho \left(1 - \frac{\rho^{N+K}}{N^K N!} p_0\right). \quad (6)$$

Среднее число заявок в очереди

$$\bar{r} = \frac{\rho^{N+1} p_0}{NN!} \cdot \frac{1 - (m+1)\rho + m\rho}{(1-\rho)^2}. \quad (7)$$

Среднее число заявок, связанных с системой

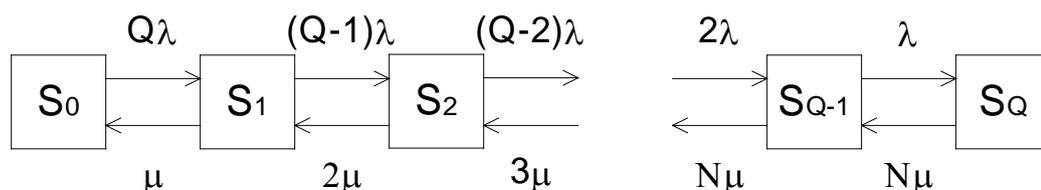
$$\bar{k} = \bar{z} + \bar{r}. \quad (8)$$

В случае отсутствия стационарного режима в СМО, становится невозможным использование формул (5) – (8) и появляется необходимость решения системы дифференциальных уравнений (1). В случае проведения имитационного моделирования описанной системы решать систему уравнений (1) приходится численно.

Пусть мониторинг инициируется системой мониторинга, в таком случае опрос узла сети ЛВС не производится до тех пор, пока не будет обработан предыдущий отправленный в систему мониторинга пакет. В таком случае имеет место модель замкнутой системы массового обслуживания. Для формирования модели системы мониторинга определим множество возможных состояний. Состояния системы определим следующим образом:

- $S_0$  — ни один из узлов не отослал информационного пакета, каналы не используются, очередь пуста;
- $S_1$  — один узел сети отослал информационный пакет, одна заявки обрабатывается, очередь пуста;
- $S_2$  — два узла сети отослали информационный пакет, две заявки обрабатываются, очередь пуста;
- ...
- $S_N$  —  $N$  узлов сети отослали информационный пакет,  $N$  заявок обрабатывается, очередь пуста;
- $S_{N+1}$  —  $N+1$  узлов сети отослали информационный пакет,  $N$  заявок обрабатывается, одна заявка находится в очереди;
- ...
- $S_Q$  — все  $Q$  узлов сети отослали информационные пакеты,  $N$  заявок обрабатывается,  $Q-N$  заявок находятся в очереди.

Размеченный граф состояний изображен на рисунке 3.



**Рис. 3** Граф состояний замкнутой СМО

По аналогии с рассмотрением разомкнутой СМО, запишем выражения для финальных вероятностей:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 = \frac{Q\lambda}{\mu} p_0; \\ p_2 = \frac{Q(Q-1)\lambda^2}{2!\mu^2} p_0; \\ \dots \\ p_Q = \frac{Q(Q-1)(Q-2)\dots 1 \cdot \lambda^Q}{N!N^{Q-N}\mu^Q} p_0; \\ p_0 = 1 + \frac{Q\rho}{1!} + \frac{Q(Q-1)\rho^2}{2!} + \dots + \\ + \frac{Q(Q-1)(Q-2)\dots(Q-N)\rho^N}{N!} + \dots + \frac{Q(Q-1)\dots 1\rho^Q}{N^{Q-N}N!}. \end{array} \right. \quad (9)$$

Рассчитанные в (9) финальные вероятности имеют тот же смысл, что и в случае с разомкнутой системой. Из рассчитанных финальных вероятностей можно определить ряд важных характеристик системы.

Среднее число занятых каналов в системе определяется формулой

Среднее число занятых каналов в системе определяется формулой

$$\bar{z} = p_1 + 2p_2 + \dots + (m-1)p_{m-1} + m(1 - p_0 - p_1 - \dots - p_{m-1}). \quad (10)$$

Среднее число пакетов отправленных узлами сети в систему мониторинга

$$w = Q - \frac{\bar{z}}{\rho}. \quad (11)$$

В условиях замкнутой системы массового обслуживания теряется смысл такой величины как вероятность отказа в обслуживании заявки.

На основе аналитически определенных операционных характеристик можно сформировать комплексные критерии для сравнения эффективности работы различных структур систем мониторинга.

Выберем два комплексных критерия: один связан с вероятностями нахождения системы мониторинга в свободном либо занятом состоянии (состояния простоя и работы), а второй связан с временами пребывания заявок в системе мониторинга.

Первый комплексный критерий является наиболее простым и его можно записать в виде следующей формулы

$$W_1 = \alpha P_{\text{простоя}} + \beta P_{\text{работы}}. \quad (12)$$

Критерий  $W_1$  подлежит минимизации. В формуле (12)  $\alpha$  и  $\beta$  некоторые коэффициенты, отражающие удельный вес соответствующих составляющих критерия. Данный комплексный критерий подлежит минимизации и удобен тем, что может быть использован как для замкнутой, так и для разомкнутой модели. Приведем критерий к зависимости от операционных характеристик

$$W_1 = \alpha P_{\text{простоя}} + \beta P_{\text{работы}} = \alpha p_0 + \beta(p_1 + p_2 + \dots + p_{N+K}) = \alpha p_0 + \beta(1 - p_0) \quad (13)$$

Второй критерий основан на временах, связанных со средними временами обслуживания и пребыванием заявки в очереди и может быть записан в виде формулы

$$W_2 = \alpha t_{\text{ожид}} + \beta t_{\text{обсл}}. \quad (14)$$

Критерий  $W_1$  подлежит минимизации. В формуле (14)  $\alpha$  и  $\beta$  также некоторые коэффициенты, отражающие удельный вес соответствующих составляющих критерия. Данный комплексный критерий подлежит минимизации и является не противоречивым, т.е. оптимизируется с уменьшением величины  $\rho$ . В связи с этим в критерий  $W_2$  введем величину связанную с простоем системы – вероятность простоя системы  $P_{\text{простоя}}$ . Тогда критерий имеет вид

$$W_2 = \alpha t_{\text{ожид}} + \beta t_{\text{обсл}} + \gamma P_{\text{простоя}}. \quad (15)$$

Приведем критерий  $W_2$  к зависимости от операционных характеристик

$$W_2 = \alpha t_{\text{ожид}} + \beta t_{\text{обсл}} + \gamma P_{\text{простоя}} = \alpha \frac{\bar{r}}{\lambda} + \beta \frac{1 - P_{\text{отк}}}{\mu} + \gamma p_0. \quad (16)$$

Составим оценочную матрицу для рассматриваемой структуры систем мониторинга по критерию  $W_1$  (таблица 1) и критерию  $W_2$  (таблица 2). Столбцы матрицы представляют собой возможные конфигурации диагностируемой сети ЛВС, которые представляются в виде числа  $N$  диагностируемых узлов сети и Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

интенсивностей  $\alpha$  отправки пакетов системе мониторинга. Строки матрицы представляют собой возможные варианты структур систем мониторинга, в виде числа  $K$  используемых каналов и средних времен  $\mu$  обслуживания пакетов на каждом канале. При составлении оценочных матриц будем использовать следующие значения указанных параметров структур сети и системы мониторинга:  $N = \{2, 4, 9\}$ ,  $K = \{2, 5, 8\}$ ,  $\lambda_1 = 2, \lambda_2 = 4, \lambda_3 = 6, \mu_1 = 17, \mu_2 = 23$ .

Рассмотрим ситуацию, связанную с полной неопределенностью. Для принятия решения в случае полной неопределенности будем использовать критерии максимакса (M), Гурвица ( $G_{0,6}$ ) и Вальда (V). По оценочным матрицам (таблицы 1 и 2) построим оценочные столбцы и примем решение в соответствии с выбранными критериями. Оценочные столбцы для оценочных матриц по критериям W1 и W2 приведены в таблице 3.

Таблица 1 — Оценочная матрица структуры системы мониторинга по комплексному критерию  $W_1$

	$2, \lambda_1$	$2, \lambda_2$	$2, \lambda_3$	$4, \lambda_1$	$4, \lambda_2$	$4, \lambda_3$	$9, \lambda_1$	$9, \lambda_2$	$9, \lambda_3$
$2, \mu_1$	0,457	0,494	0,52	0,494	0,539	0,563	0,546	0,582	0,594
$2, \mu_2$	0,444	0,476	0,501	0,476	0,519	0,545	0,527	0,568	0,586
$5, \mu_1$	0,448	0,483	0,509	0,483	0,528	0,555	0,536	0,577	0,591
$5, \mu_2$	0,437	0,466	0,489	0,466	0,508	0,535	0,516	0,562	0,582
$8, \mu_1$	0,446	0,48	0,506	0,48	0,526	0,554	0,534	0,577	0,592
$8, \mu_2$	0,435	0,463	0,486	0,463	0,505	0,553	0,513	0,56	0,582

По полученным значениям в оценочных столбцах можно принять решения о выборе структуры системы мониторинга в случае полной неопределенности в зависимости от выбранного критерия. В таблице 3 принятое решение по каждому из критериев выделено серым цветом. Критерий максимакса соответствует наилучшему из возможных вариантов принятия решений, критерий Вальда — наихудшему варианту, а критерий Гурвица — некоторый промежуточный вариант между «безудержным оптимизмом» и «крайним пессимизмом».

Таблица 2 — Оценочная матрица структуры системы мониторинга по комплексному критерию  $W_2$ 

	2, $\lambda_1$	2, $\lambda_2$	2, $\lambda_3$	4, $\lambda_1$	4, $\lambda_2$	4, $\lambda_3$	9, $\lambda_1$	9, $\lambda_2$	9, $\lambda_3$
2, $\mu_1$	0,644	0,497	0,399	0,497	0,371	0,206	0,266	0,119	0,014
2, $\mu_2$	0,675	0,547	0,453	0,547	0,382	0,212	0,355	0,17	0,083
5, $\mu_1$	0,679	0,54	0,436	0,54	0,357	0,249	0,324	0,161	0,104
5, $\mu_2$	0,705	0,589	0,496	0,589	0,421	0,31	0,389	0,205	0,125
8, $\mu_1$	0,688	0,552	0,488	0,552	0,367	0,256	0,334	0,163	0,103
8, $\mu_2$	0,712	0,6	0,508	0,6	0,433	0,32	0,401	0,211	0,126

Из таблицы 3 видно, что по разработанным критериям вне зависимости от выбранного критерия принятия решения происходит выбор одной и той же структуры для критерия  $W_1$  — система мониторинга с 8-ю каналами и временем обслуживания  $\mu_2$ , а для критерия  $W_2$  — система мониторинга с 2-мя каналами и временем обслуживания  $\mu_1$ .

Таблица 3 — Оценочные столбцы для оценочных критериев  $W_1$  и  $W_2$ 

	Критерий $W_1$			Критерий $W_2$		
	M	$G_{0,6}$	V	M	$G_{0,6}$	V
2, $\mu_1$	0,457	0,512	0,594	0,014	0,266	0,644
2, $\mu_2$	0,444	0,501	0,586	0,083	0,32	0,675
5, $\mu_1$	0,448	0,505	0,591	0,104	0,334	0,679
5, $\mu_2$	0,437	0,495	0,582	0,125	0,357	0,705
8, $\mu_1$	0,446	0,504	0,592	0,103	0,337	0,688
8, $\mu_2$	0,435	0,494	0,582	0,126	0,36	0,712

Используя построенный математический аппарат можно принимать решения в условиях полной или частичной неопределенности, руководствуясь построенными моделями и разработанными критериями, что является важным для обеспечения базовых принципов устойчивого развития городской среды (экологических, экономических и социальных) [2]. Важным аспектом развития умной городской среды является совершенствование и внедрение интеллектуальных технологий мониторинга социальных сетей, способных, с одной стороны гарантированно обеспечивать возрастающие потребности по

верификации мероприятий цифровой трансформации городской среды, а с другой – обеспечивать безопасность граждан [4]. В дальнейшем планируется дополнить разработанную аналитическую модель имитационными экспериментами, описывающими функционирование системы мониторинга для анализа социальных медиа в постконфликтных обществах, дополнив сформулированные критерии  $W_1$  и  $W_2$  компонентами, учитывающими особенности оценки тональности мнений и других аспектов анализа рассматриваемой предметной области.

*Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ и Правительства Севастополя в рамках научного проекта № 20-47-920006, а также Севастопольского государственного университета в рамках внутреннего гранта №28/06-31.*

## Список литературы

1. Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства. 3-е изд., перераб. и дополн. М.: МЦНМО, 2018. – 224 с.
2. Митягин С.А., Воронин Д.Ю., Соболевский С.Л., Дрожжин А.И., Евстигнеев В.П., Садовникова Н.П., Парыгин Д.С., Чугунов А.В. Цифровая модель города: принципы и подходы к реализации // International journal of open information technologies. 2019. Vol. 7 (12). pp. 94 –103.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. — М.: Изд-во «Советское радио», 1972. — 552 с.
4. Truong, Quoc-Dinh & Dkaki, Taoufiq & Truong, Quoc-Bao. (2016). Graph Methods for Social Network Analysis, № 168, pp. 276-286.

*Оригинальность 95%*