

19. Tsapleva V.V. Sistemnyy analiz gidrolitosferykh protsessov regiona g. Lermontova: dis. [Systems analysis of hydrolithospheric processes in the region of the city of Lermontov: diss]. YuFU, 2012.
20. Drovosekova T.I., Pershin I.M. Osobennosti modelirovaniya gidrolitosferykh protsessov regiona Kavkazskikh Mineral'nykh Vod [Features of modeling hydrolithospheric processes in the region of the Caucasian Mineral Waters], Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam [International Conference on Soft Computing and Measurements]. Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy elektrotekhnicheskiy universitet LETI im. V.I. Ul'yanova (Lenina), 2016, Vol. 1, pp. 229-232.

Георгиева Марьяна Альбековна – Южный федеральный университет; e-mail: maryana.g@list.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +79674177490; аспирант.

Першин Иван Митрофанович – e-mail: ivmp@yandex.ru; тел.: +79288251910; д.т.н.; профессор.

Georgieva Maryana Albekovna – Southern Federal University; e-mail: maryana.g@list.ru; Taganrog, Russia; phone: +79674177490; graduate student.

Pershin Ivan Mitrofanovich – e-mail: ivmp@yandex.ru; phone: +79288251910; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 004.942+519.171

DOI 10.18522/2311-3103-2024-6-131-142

Е.Р. Зяблова

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВЕ ГРАФОВЫХ ПОДХОДОВ

Предложен подход к моделированию социальных взаимодействий в организационных системах, который состоит из несколько этапов: получение данных о пользователях системы, например при помощи парсинга сети; формирование GH-модели системы на основе нечетких графов с разнотипными вершинами и множественными разнотипными связями; вычисление графовых характеристик с учетом определенного типа связи; использование значений графовых характеристик для анализа системы с учетом заложенной смысловой нагрузки. Обоснована целесообразность использования GH-графа для исследования социальных отношений в организационных системах, так как он обладает рядом преимуществ. GH-граф позволяет задать все необходимые разнотипные отношения и при этом уменьшить время анализа системы в 1,9 раз за счет использования множественных связей в виде вектора, позволяющих объединить несколько разнотипных связей. Модификация модели заключается в использовании разнотипных вершин. Тип вершин в графе определяется через вычисление их характеристик. В работе показан процесс формирования графовой модели подсистемы и вычисления ее характеристик. Показаны результаты вычисления степеней вершин, их центральности по степеням. Для вычисления метрических характеристик графовой модели использован модифицированный алгоритм поиска кратчайших путей в GH-графе, разработанный ранее. Особенностью данного алгоритма является возможность использовать фильтры по типу вершин и связей. Получены численные показатели радиуса и диаметра графа, определены группы центральных и периферийных вершин, вычислены центральности вершин по близости с учетом выбранных типов связей для исследования разнотипных отношений в системе. Анализ подсистемы выполнен на примере решения двух практических задач. Среди пользователей сети выявлены группы сотрудников предприятия, определены их возможные статусы и коммуникативные активности. Под статусом пользователя понимается принадлежность к группам руководителей разного уровня, группе рядовых сотрудников предприятия. Предложено решение задачи выявления пользователей (групп пользователей), наиболее подходящих для распространения (или, наоборот, нераспространения) информации в сети.

GH-граф; разнотипные вершины; множественные разнотипные связи; метрики графа; центральность вершины; организационная система; сеть.

E.R. Zyablova

MODELING OF SOCIAL INTERACTIONS BASED ON GRAPH APPROACHES

The article proposes an approach to modeling social interactions in organizational systems, which consists of several stages: obtaining data about system users, for example, using network parsing; forming a GH-model of the system based on fuzzy graphs with different types of vertices and multiple different types of edges; calculating graph characteristics taking into account a certain type of edges; using values of graph characteristics to analyze the system taking into account the inherent semantic load. The expediency of using the GH graph for the study of social relations in organizational systems is substantiated, since it has a number of advantages. The GH-graph allows you to set all the necessary multi-type relationships and at the same time reduce the time of system analysis by 1.9 times by using multiple edges in the form of a vector, allowing you to combine several different types of edges. Modification of the model consists in using different types of vertices. The type of vertices in the graph is determined by calculating their characteristics. The paper shows the process of forming a graph model of a subsystem and calculating its characteristics. The results of calculating the degrees of vertices and their centrality by degrees are shown. To calculate the metric characteristics of the graph model, a modified algorithm for finding shortest paths in the GH-graph was used, which was previously developed. A special feature of this algorithm is the ability to use filters based on the type of vertices and edges. Numerical indices of the radius and diameter of the graph are obtained, groups of central and peripheral vertices are determined, the centrality of vertices in proximity is calculated, taking into account the selected types of edges for the study of different types of relations in the system. The analysis of the subsystem is carried out using the example of solving two practical problems. Groups of employees of the enterprise were identified among the network users, their possible statuses and communicative activities were determined. The user status refers to belonging to groups of managers of different levels, a group of ordinary employees of the enterprise. A solution to the problem of identifying users (groups of users) most suitable for the dissemination (or, conversely, non-proliferation) of information on the network is proposed.

GH-graph; vertices of different types; multiple edges of different types; graph metrics; vertex centrality; organizational system; network.

Введение. Задача моделирования социальных взаимодействий остается актуальной на протяжении последних лет. Исследователям интересны процессы информационного обмена среди пользователей социальных, профессиональных сетей, внутри предприятий и организаций и др.

Задачи, которые решаются в рамках таких исследований, носят разносторонний характер, в том числе: моделирование конкурентных взаимодействий [1]; работа с экспертным сообществом для оценивания перспективы применения моделей в реальных социальных процессах [2]; прогнозирование социально-экономических процессов [3]; социализация роботов; формирование рекомендаций в решении кадровых вопросов сотрудников предприятий; формирование карьерных траекторий выпускников ВУЗов [4] и др.

Для решения задач, направленных на исследование социальных взаимодействий, используют различные методы и модели. Широко известны мультиагентные подходы, изложенные в работах классиков (В.И. Городецкого, Д.А. Поспелова, П.О. Скобелева, В.Б. Тарасова, М. Вудриджа (M. Wooldridge), Н. Дженнингса (N. Jennings), К. Хьюитта (C. Hewitt), Й. Шоэма (Y. Shoham) и др.), акторные подходы в соответствии с акторно-сетевой теорией (Б. Латур (B. Latour), М. Каллон (M. Callon), Дж. Ло (John Law), А. Мол (A. Mol)), когнитивное моделирование, в том числе использование нечетких когнитивных моделей [5–8], моделирование на основе графовых подходов и др.

В рамках данного исследования сделан акцент на использование возможностей математического аппарата теории графов. Очевидно, что для моделирования социальных взаимодействий недостаточно классических графовых моделей, возникает необходимость в применении моделей на основе графов, допускающие разнотипные связи [9, 10]. Для представления социальных отношений в организационных системах в работе [11]

предложено использование *GH*-моделей¹, в том числе нечетких графов с множественными и разнотипными связями, позволяющих задать все необходимые отношения и при этом уменьшить время анализа системы [13].

Формальное описание *GH*-графа. В работе [14] предложена модифицированная нечеткая графовая модель с разнотипными вершинами и множественными разнотипными связями (*GH*-граф). «Формально такой граф

$$G = (Gv, Ge) \quad (1)$$

задан нечеткими конечными множествами вершин $Gv = \{gv_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ (gv – *graph vertex*) и связей $Ge = \{ge_l \mid l = 1, 2, \dots, m\}$ (ge – *graph edge*).

Вершины в таком графе могут быть разнотипными, тогда множество вершин графа содержит подмножества вершин по типу: $Gv = \{Gv(tp_p)\}$. Связи в графе, заданном в соответствии с (1), могут быть:

- ◆ неориентированными ($gv_i - gv_j$) и ориентированными ($gv_i \rightarrow gv_j$);
- ◆ однотипными ($gv_i - gv_j, gv_i \rightarrow gv_j$);
- ◆ разнотипными ($gv_i - tp - gv_j, gv_i - tp \rightarrow gv_j$, где tp – *type*);
- ◆ множественными связями в виде вектора ($gv_i - \bar{v} - gv_j, gv_i - \bar{v} \rightarrow gv_j$). Здесь связь в виде вектора позволяет объединить t разнотипных связей и представляется в виде

$$\bar{v} = \langle v_1, v_2, \dots, v_t \rangle,$$

где t – размерность вектора или кратность связи v .

Таким образом, множество связей графа содержит подмножества однотипных связей $Ge(o)$, разнотипных связей $Ge(tp_k)$ и связей в виде вектора $Ge(v_e)$: $Ge = \{Ge(o), Ge(tp_k), Ge(v_e)\}$ [14].

Вершинам и связям графа, заданных нечеткими множествами, соответствуют весовые коэффициенты $\eta_i \in [0,1]$ и $\mu_l \in [0,1]$. Степени принадлежности нечетким множествам могут назначаться экспертами или вычисляться при помощи фаззификации [15].

Проведенные ранее результаты экспериментальных исследований на модифицированных графовых моделях размером 50 – 150 вершин показали уменьшение времени анализа данных в системах с разнотипными потоками не менее, чем в 1,9 раз за счет использования множественных связей в виде вектора по сравнению с графами, допускающими только однотипные и разнотипные связи [14]. Это подтверждает обоснованность применение *GH*-графов для моделирования сложных систем.

Для моделирования социальных взаимодействий, в том числе для решения ряда практических задач, направленных на исследование организационных систем предлагается подход, основанный на выполнении следующих этапов:

1) получение обезличенных данных о пользователях (их статус, возможные отношения, некоторые персональные данные, например возраст, профессия, пол и т.д.) одним из возможных способов:

- ◆ при помощи парсинга сети (социальной, профессиональной или др.). Здесь можно использовать различные парсеры (существующие или разработанные под конкретные задачи), например парсер описанный в работе [16];
- ◆ использовать уже имеющиеся датасеты;

2) представление полученных данных в виде *GH*-графа, формирование графовой модели с учетом соответствия вершин графа объектам системы, связей в графе – отношениям между объектами системы. К атрибутам вершины можно отнести ее вес, тип, а к атрибутам связи – направленность, тип и вес. Подробно возможные атрибуты объектов системы и элементов *GH*-графа описаны в работе [17];

¹ Термин «*GH*-модель» предложен в работе [12] и представляет собой объединение графовых и гиперграфовых моделей. Поскольку граф является частным случаем гиперграфа, то в рамках данного исследования к нечетким графам с множественными и разнотипными связями будем применять термин «*GH*-граф».

- 3) организация вычисления характеристик на графовой модели;
- 4) использование (интерпретация) вычисленных значений характеристик для анализа организационной системы с учетом заложенной смысловой нагрузки в модель.

Следующий шаг является необязательным. Получение рекомендаций по решению практической задачи возможно с использованием методов машинного обучения, например, графовых нейронных сетей (ГНС), см. работу [14]. В рамках данного исследования этот шаг не рассматривается.

Поясним предложенный подход на примере.

Предположим, что при помощи парсинга сети получены следующие сведения о системе. Объектами организационной системы являются субъекты (пользователи сети Π_k). Пользователи общаются между собой при помощи различных средств коммуникации, например, почтовый сервис, корпоративная платформа, закрытый канал связи. Кроме того, известно, что между некоторыми пользователями отмечены отношения «влиять».

Необходимо решить ряд задач:

- 1) выявить группу пользователей в рамках одного предприятия, определить их возможный статус (руководители различного уровня, рядовые сотрудники предприятия, не сотрудники и т.д.) и их характеристики (степень коммуникабельности и др.);

- 2) выявить группу пользователей, наиболее подходящих для распространения (или, наоборот, нераспространения) информации в сети.

На основе полученных данных о системе приступим к формированию графовой модели.

Формирование графовой модели на основе ГН-графа. Полученная в результате парсинга сети графовая модель G оказалась достаточно большой (около 10000 вершин). В результате применения алгоритма разделения [18] получен подграф G_1 , который соответствует подсистеме (рис. 1).

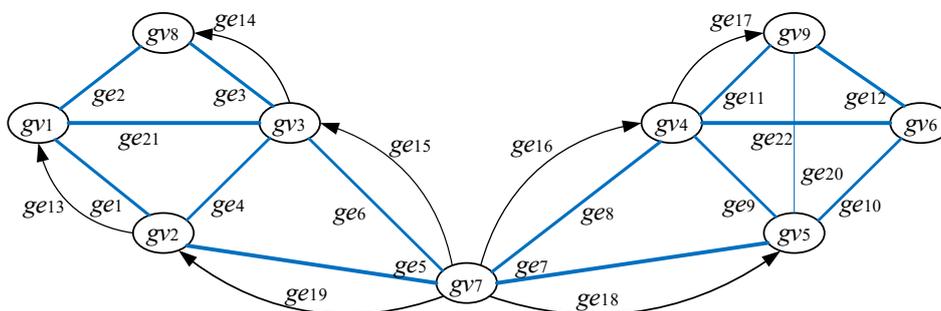


Рис. 1. Модель организационной подсистемы в виде подграфа G_1

Объекты системы (пользователи $\Pi_1 - \Pi_9$) представлены в подграфе вершинами $gv_1 - gv_9$. Статус пользователей не определен средствами парсинга, поэтому не определены атрибуты вершин (тип, вес) подграфа G_1 .

Существующие отношения между пользователями: «влиять», «общаться» по различным каналам связи (почтовый сервис, корпоративная платформа, закрытый канал связи) представлены в подграфе связями. Например, отношение «влиять» может соответствовать ориентированной связи типа tp_1 , отношения «общаться» по различным каналам связи (почтовый сервис, корпоративная платформа, закрытый канал связи) – разнотипные отношения, которые могут соответствовать разнотипным неориентированным связям. Однако, ГН-граф позволяет объединить некоторые связи в множественную связь в виде вектора, что целесообразно выполнить в данном случае, так как в текущий момент времени пользователи используют только один канал связи из трех возможных. Тогда множество связей подграфа G_1 будет представлено в виде $Ge = \{Ge(tp_1), Ge(v_{1.1}, v_{1.2}, v_{1.3})\}$.

В табл. 1 отражены возможные отношения между пользователями и их соответствия связям подграфа.

Вербальное описание показателей зависит от численных значений весов вершин и связей подграфа η_i и μ_i , например, если $\mu_i = 0$, то показатель отсутствует, $\mu_i = [0,01; 0,39]$ соответствует слабому показателю, $\mu_i = [0,40; 0,69]$ – умеренному показателю, $\mu_i = [0,70; 1,00]$ – сильному показателю.

На следующем этапе следует выполнить анализ подсистемы путем применения средств вычисления характеристик на полученной модели.

Таблица 1

Соответствие отношений в подсистеме связям подграфа G_1

Виды связей	Типы связей	Связи подграфа, ge_i	Веса связей подграфа, μ_i	Отношения между элементами подсистемы
$gv_i - tp \rightarrow gv_j$	tp_1	ge_{13}	0,5	«влиять»
		ge_{14}	0,5	
		ge_{15}	0,7	
		ge_{16}	0,8	
		ge_{17}	0,6	
		ge_{18}	0,9	
		ge_{19}	0,5	
$gv_i - \bar{v} - gv_j$	$\bar{v}_1 = \langle v_{1.1}, v_{1.2}, v_{1.3} \rangle$	ge_1	0,3; 0,7; 0	«общаться»: $v_{1.1}$ – почтовый сервис; $v_{1.2}$ – корпоративная платформа; $v_{1.3}$ – закрытый канал связи.
		ge_2	0,4; 0,6; 0	
		ge_3	0,5; 0,5; 0	
		ge_4	0,3; 0,7; 0	
		ge_5	0,2; 0,5; 0,3	
		ge_6	0,4; 0,3; 0,3	
		ge_7	0,4; 0,4; 0,2	
		ge_8	0,4; 0,3; 0,3	
		ge_9	0,2; 0,7; 0,1	
		ge_{10}	1,0; 0; 0	
		ge_{11}	0,2; 0,7; 0,1	
		ge_{12}	1,0; 0; 0	
		ge_{20}	0,4; 0,5; 0,1	
		ge_{21}	0,3; 0,7; 0	
		ge_{22}	1,0; 0; 0	

Анализ организационной подсистемы путем вычисления характеристик подграфа G_1 . Графовые характеристики, используемые для анализа социальных отношений в организационных системах, и их возможные интерпретации рассмотрены в ряде работ [19–21 и др.]. В рамках нашего исследования для анализа подсистемы будем использовать следующие характеристики подграфа G_1 , которые можно объединить в группы.

Группа 1. Метрики, зависящие от инцидентных связей:

- ◆ локальная степень вершины $s(gv_i)$;
- ◆ полустепени исхода и захода вершин, соответственно $s^-(gv_i)$ и $s^+(gv_i)$;
- ◆ центральность вершины по степени $Cs(gv_i)$;
- ◆ центральности вершины по полустепени исхода и захода, соответственно $Cs^-(gv_i)$ и $Cs^+(gv_i)$;

Группа 2. Метрики, зависящие от расстояния:

- ◆ радиус графа $r(G_1)$;
- ◆ диаметр $d(G_1)$;
- ◆ группы центральных и периферийных вершин ($O(G_1)$ и $P(G_1)$);
- ◆ центральность вершины по близости $Cc(gv_i)$.

Перечисленные выше характеристики довольно известны для широкого круга исследователей, поэтому подробно рассмотрим только характеристики центральности и их возможные интерпретации.

Центральность вершины по степени $Cs^\circ(gv_i)$ определяется по формуле:

$$Cs^\circ(gv_i) = \frac{s(gv_i)}{(n-1)},$$

где $s(gv_i)$ – локальная степень i -ой вершины графа.

Центральность вершины по степени может быть интерпретирована как показатель активности пользователя в сети. В случае направленности сети используются входящая $Cs^+(gv_i)$ и исходящая $Cs^-(gv_i)$ центральности по степени. Чем выше значение входящей центральности по степени $Cs^+(gv_i)$, тем выше уровень востребованности пользователя, что говорит о том, что за действиями такого субъекта будет следить много людей. Высокая исходящая центральность по степени $Cs^-(gv_i)$ указывает на то, что пользователь является «властным». Такой тип субъекта сможет быстро распространить информацию в сети.

Центральность вершины по близости $Cc(gv_i)$ вычисляется как показано ниже:

$$Cc(gv_i) = \frac{(n-1)}{\sum_1^{(n-1)} d(gv_i, gv_j)},$$

где $\sum_1^{(n-1)} d(gv_i, gv_j)$ – сумма минимальных расстояний между вершиной gv_i и остальными вершинами. При вычислении показателя центральности вершины по близости учитываются не только множество инцидентных ей связей, но и связи, инцидентные ее соседям. В связи с этим пользователь, соответствующей вершине с высоким показателем центральности по близости, имеет доступ к большому количеству других пользователей благодаря связям, в которые он включен.

Вычисление характеристик обеих групп для графов с однотипными связями не составляет труда, для чего используются стандартные средства (формулы) классической теории графов. Нестандартным является процесс организации вычислений на графах с множественными и разнотипными связями, так как в вычислении могут участвовать связи разного типа, тогда затруднительна интерпретация полученных числовых значений характеристик для анализа системы.

Для решения этой проблемы предлагается простой механизм фильтрации вершин и связей, например, если в подграфе G_1 оставить только связи типа tp_1 , соответствующие отношению «влиять». Тогда будет получен подграф $G_{1,1}$, как показано на рис. 2.

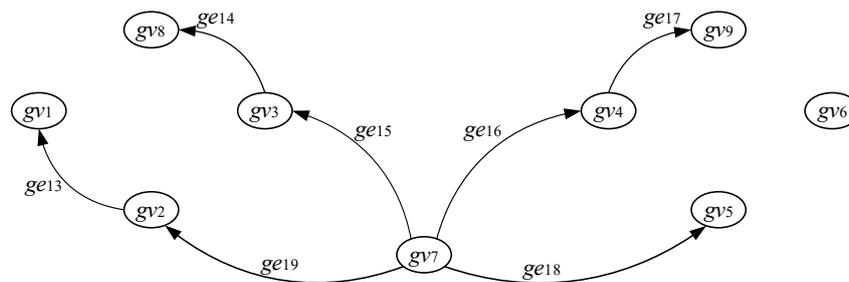


Рис. 2. Пример подграфа $G_{1,1}$

Определение метрик первой группы.

Связи типа tp_1 в подграфе $G_{1,1}$ позволяют исследовать отношение «влиять» в подсистеме. В табл. 2 приведены значения центральностей и полустепеней вершин с учетом таких связей.

Для того, чтобы определить пользователя Π_i , оказывающего наибольшее влияние на других пользователей, необходимо найти вершину с максимальным значением $Cs^-(gv_i)$ и минимальным значением $Cs^+(gv_i)$. Этому условию удовлетворяет вершина gv_7 , для которой получены следующие значения $Cs^-(gv_7) = 0,5$ и $Cs^+(gv_7) = 0$, $s^-(gv_7) = 4$ и $s^+(gv_7) = 0$.

Таблица 2

Численные значения характеристик вершин подграфа $G_{1.1}$

Характеристики вершин	Вершины подграфа $G_{1.1}$								
	gv_1	gv_2	gv_3	gv_4	gv_5	gv_6	gv_7	gv_8	gv_9
$s^-(gv_i)$	0	1	1	1	0	0	4	0	0
$s^+(gv_i)$	1	1	1	1	1	0	0	1	1
$Cs^-(gv_i)$	0	0,125	0,125	0,125	0	0	0,5	0	0
$Cs^+(gv_i)$	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0	0	0,125	0,125

Следовательно, пользователь Π_7 , соответствующий вершине gv_7 в подграфе $G_{1.1}$, возглавит список влиятельных пользователей, так как он оказывает влияние на четырех других пользователей, а сам не подвержен влиянию со стороны.

Полученные значения $Cs^-(gv_i) = Cs^+(gv_i) = 0,125$ и $s^-(gv_i) = s^+(gv_i) = 1$ для вершин gv_2, gv_3, gv_4 с учетом интерпретации связей позволяют сделать следующий вывод: группа пользователей $\Pi_2 - \Pi_4$ подвержены умеренному влиянию и сами оказывают умеренное влияние на других пользователей системы.

Аналогично, остальные пользователи ($\Pi_1, \Pi_5, \Pi_8, \Pi_9$) подвержены умеренному влиянию и сами не оказывают какого-то ощутимого влияния на других пользователей системы, так как для вершин gv_1, gv_5, gv_8, gv_9 получены значения $s^-(gv_i) = 0, s^+(gv_i) = 1$. При этом значения $s^-(gv_6) = s^+(gv_6) = 0$ для вершины gv_6 демонстрируют, что соответствующий пользователь Π_6 не подвержен влиянию и не оказывает влияние сам.

Тогда список пользователей, оказывающих наибольшее влияние на других субъектов сети, будет составлен в порядке убывания $\Pi_{вл} = \langle \Pi_7, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_1, \Pi_5, \Pi_8, \Pi_9 \rangle$.

Далее, если в исходном подграфе G_1 оставить только множественные связи в виде вектора $\bar{v}_1 = (v_{1.1}, v_{1.2}, v_{1.3})$, то будет получен подграф $G_{1.2}$ (рис. 3).

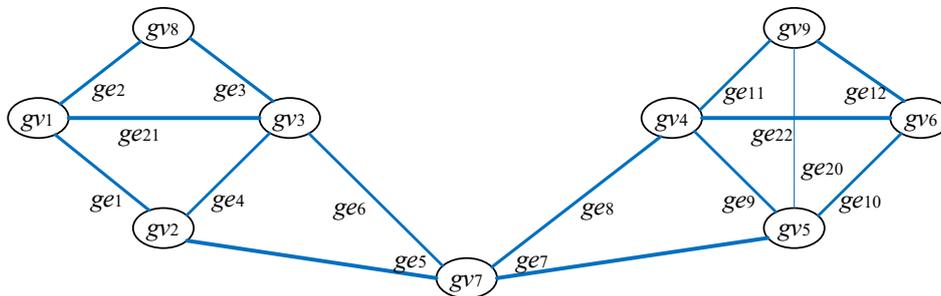


Рис. 3. Пример подграфа $G_{1.2}$

Множественные связи в виде вектора $\bar{v}_1 = (v_{1.1}, v_{1.2}, v_{1.3})$ соответствуют отношению «общаться» через почтовый сервис ($v_{1.1}$), корпоративную платформу ($v_{1.2}$) и закрытый канал связи ($v_{1.3}$). Следовательно, для анализа информационных потоков пользователей целесообразно в подграфе $G_{1.2}$ оставлять поочередно связи $\bar{v}_1 = (v_{1.1})$, $\bar{v}_1 = (v_{1.2})$ и $\bar{v}_1 = (v_{1.3})$.

Аналогичные подходы описаны в работе [22], где предложен модифицированный алгоритм поиска кратчайших путей в GH -графе для моделирования взаимодействия объектов сложных технических систем. Этот алгоритм показал хорошие результаты и вместе с тем позволяет обрабатывать граф, заданный исходным множеством связей, либо выбранным подмножеством связей. Все вместе это позволяет использовать разработанный автором алгоритм и для моделирования социальных взаимодействий в организационных системах.

Вычисленные значения центральных и степеней вершин подграфа $G_{1.2}$ представлены в табл.3.

Таблица 3

Численные значения характеристик вершин подграфа $G_{1,2}$

Характеристики вершин с учетом связей в виде вектора \bar{v}_1		Вершины подграфа $G_{1,2}$								
		gv_1	gv_2	gv_3	gv_4	gv_5	gv_6	gv_7	gv_8	gv_9
$v_{1,1}$	$s(gv_i)$	3	3	4	4	4	3	4	2	3
	$Cs(gv_i)$	0,37	0,37	0,5	0,5	0,5	0,37	0,5	0,25	0,37
$v_{1,2}$	$s(gv_i)$	3	3	4	4	4	0	4	2	3
	$Cs(gv_i)$	0,37	0,37	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0,25	0,37
$v_{1,3}$	$s(gv_i)$	0	3	4	4	4	0	4	0	3
	$Cs(gv_i)$	0	0,37	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	0,37

Здесь можно видеть следующее, если учтены множественные связи в виде вектора $\bar{v}_1 = (v_{1,3})$, то для ряда вершин (gv_1, gv_6, gv_8) значения локальных степеней вершин соответствуют «0». Это связано с тем, что веса связей $ge_1 - ge_4, ge_{10}, ge_{12}, ge_{21}, ge_{22}$ по вектору $v_{1,3}$ принимают нулевые значения (см. табл. 1), следовательно для ряда пользователей Π_1, Π_6, Π_8 отсутствует отношение «общаться» через закрытый канал связи.

Аналогично, с учетом множественных связей в виде вектора $\bar{v}_1 = (v_{1,2})$ численное значение локальной степени вершины $s(gv_6) = 0$, так как для пользователя Π_6 отсутствует отношение «общаться» через корпоративную платформу (в табл. 1 видно, что веса связей $ge_{10}, ge_{12}, ge_{22}$ по вектору $v_{1,2}$ принимают нулевые значения).

Проанализировав табл. 3 можно выделить группу вершин $\{gv_3, gv_4, gv_5, gv_7\}$ с высокими показателями $s(gv_i)$ и $Cs(gv_i)$ для всех трех связей в виде вектора \bar{v}_1 , что свидетельствует об активности пользователей $\Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_7$ в распространении информации по различным каналам (высокой степени коммуникабельности).

Таким образом, список наиболее активных пользователей, участвующих в распространении информации по всем трем каналам, можно представить в порядке убывания $\Pi_a = \langle \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_7, \Pi_2, \Pi_9 \rangle$.

Если рассматривать пользователей подсистемы как потенциальных сотрудников конкретного предприятия для решения задачи 1, то пользователь Π_7 скорее всего руководитель 1-го уровня, так как он возглавляет списки пользователей по влиятельности и активности в передаче информации. При этом пользователь Π_6 скорее всего не является сотрудником предприятия, так как отличные от нуля значения $s(gv_6)$ и $Cs(gv_6)$ имеются только для связи в виде вектора $\bar{v}_1 = (v_{1,1})$, соответствующей отношению «общаться» через почту.

Продолжая анализировать списки $\Pi_{вл}$ и Π_a , можно распределить пользователей по группам с определенным статусом, как показано в табл. 4.

Таблица 4

Соответствие объектов подсистемы вершинам подграфа G_1

Назначение объектов системы	Статус объекта	Вершины графа	Типы вершин графа, tpv_i	Веса вершин графа, η_i
пользователь Π_7	руководитель 1-го уровня	gv_7	tpv_1	1,0
пользователи $\Pi_2 - \Pi_4$	руководители 2-го уровня	$gv_2 - gv_5$	tpv_2	по 0,7
пользователи $\Pi_1, \Pi_5, \Pi_8, \Pi_9$	сотрудники	gv_1, gv_8, gv_9	tpv_3	0,5
пользователь Π_6	не сотрудник	gv_6	tpv_4	0,2

Объекты системы (пользователи $\Pi_1 - \Pi_9$) в зависимости от статуса представлены в графе разнотипными вершинами. В табл. 4 пользователи сети распределены по группам: руководители 1-го и 2-го уровней и рядовые сотрудники предприятия, а также пользователь Π_6 , не являющийся сотрудником). Тип вершины соответствует группе пользователей по статусу, а вес вершины – степени значимости пользователя. Таким образом решена задача 1 и определены атрибуты вершин подграфа G_1 для дальнейшего исследования.

Определение метрик второй группы. Для вычисления метрик, зависящих от расстояний, использован модифицированный алгоритм поиска кратчайших путей в *GH*-графе [22]. Вычисления проведены для подграфа $G_{1,2}$ отдельно по связям в виде вектора $\bar{v}_1 = (v_{1,1})$, $\bar{v}_1 = (v_{1,2})$ и $\bar{v}_1 = (v_{1,3})$. Полученные численные значения метрических характеристик представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Метрические характеристики подграфа $G_{1,2}$

вектор \bar{v}_1	Метрики подграфа с учетом связей в виде вектора \bar{v}_1			
	радиус, $r(G_{1,2})$	диаметр, $d(G_{1,2})$	группа центральных вершин, $O(G_{1,2})$	группа периферийных вершин, $P(G_{1,2})$
$v_{1,1}$	1,0	2,3	$\{gv_4\}$	$\{gv_6, gv_8\}$
$v_{1,2}$	1,0	2,0	$\{gv_7\}$	$\{gv_1, gv_9\}$
$v_{1,3}$	0,3	0,7	$\{gv_7\}$	$\{gv_2, gv_3, gv_9\}$

Таблица 6

Метрические характеристики вершин подграфа $G_{1,2}$

вектор \bar{v}_1	Центральность вершины по близости, $Cc(gv_i)$								
	gv_1	gv_2	gv_3	gv_4	gv_5	gv_6	gv_7	gv_8	gv_9
$v_{1,1}$	1,26	1,56	1,35	1,6	1,42	0,6	1,6	0,84	1,21
$v_{1,2}$	1,03	1,26	1,66	1,45	1,37	0	1,9	1,12	0,93
$v_{1,3}$	0	3,8	3,8	4,7	5,7	0	5,7	0	4,2

Если исследуются информационные потоки в системе, то группа центральных и периферийных вершин в графе соответствует объектам системы, через которые проходит соответственно, максимальное и минимальное количество информационных потоков. При этом показатель центральности вершины по близости $Cc(gv_i)$ характеризует степень посредничества объекта при передаче информации, т.е. учитывает его связи.

Тогда полученные значения $O(G_{1,2}) = \{gv_4\}$ по $v_{1,1}$, $O(G_{1,2}) = \{gv_7\}$ по $v_{1,2}$ и $v_{1,3}$ (см. табл. 5) можно интерпретировать так – пользователи Π_4 и Π_7 обладают лучшими коммуникативными свойствами по выбранным каналам связи. А полученные значения радиуса $r(G_{1,2})$ и диаметра $d(G_{1,2})$ соответствуют времени доступа к пользователям в абсолютных величинах. Например, значение $r(G_{1,2}) = 1,0$ можно интерпретировать как минимальное время распространения информации в системе (если информацию распространять через корпоративную платформу, начиная с пользователя Π_7), а значение $d(G_{1,2}) = 2,0$ – как максимальное время распространения информации в системе.

Пользователи, соответствующие вершинам из подмножеств $P(G_{1,2})$ по связям $v_{1,1}$, $v_{1,2}$ и $v_{1,3}$, наоборот обладают наихудшими коммуникативными свойствами для передачи информации по выбранным каналам связи.

Анализ показателей центральности вершины по близости $Cc(gv_i)$ в табл. 6 позволяет распределить пользователей в группы по степени посредничества в коммуникации по трем каналам передачи данных в порядке убывания:

- ♦ через почтовый сервис $\Pi_{k1} = \langle \Pi_4, \Pi_7, \Pi_2, \Pi_5, \Pi_3, \Pi_1, \Pi_9, \Pi_8, \Pi_6 \rangle$;
- ♦ через корпоративную платформу $\Pi_{k2} = \langle \Pi_7, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_2, \Pi_8, \Pi_1, \Pi_9 \rangle$;
- ♦ через закрытый канал связи $\Pi_{k3} = \langle \Pi_5, \Pi_7, \Pi_4, \Pi_9, \Pi_2, \Pi_3 \rangle$.

Тогда, можно сделать следующий вывод. Для вброса информации в сеть целесообразно использовать группу пользователей $\{\Pi_4, \Pi_5, \Pi_7\}$. Таким образом решена задача 2.

Заключение. Предложенный в работе подход к моделированию социальных взаимодействий в организационных системах показал свою эффективность для решения ряда практических задач. Подход включает в себя несколько этапов, в том числе получение данных о пользователях системы; формирование *GH*-модели системы на основе нечетких графов с множественными и разнотипными связями; вычисление графовых характеристик для анализа системы с учетом заложенной смысловой нагрузки.

ГН-граф обладает рядом преимуществ, а именно позволяет задать все необходимые отношения и при этом уменьшить время анализа системы в 1,9 раз за счет использования множественных связей в виде вектора, позволяющих объединить несколько разнотипных связей. Новизна модели заключается в использовании разнотипных вершин. Тип вершин в графе определяется через вычисление их характеристик.

В работе выполнен анализ подсистемы на примере решения двух практических задач. Сформирована графовая модель подсистемы. Выявлены группы сотрудников предприятия, определены их возможные статусы и коммуникативные активности. Предложено решение задачи выявления пользователей (групп пользователей), наиболее подходящих для распространения (или, наоборот, нераспространения) информации в сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малков С.Ю., Шпырко О.А. Особенности социальных взаимодействий: базовая модель // Компьютерные исследования и моделирование. – 2023. – Т. 15, № 6. – С. 1673-1693. – DOI: 10.20537/2076-7633-2023-15-6-1673-1693.
2. Андриянова Т.В. Экспертное сообщество в моделировании социального взаимодействия: возможности и барьеры // Сб. научных трудов: Экспертные институты в XXI веке: принципы, технологии, культура. – Иркутск. Изд-во: Иркутский государственный университет, 2022. – С. 30-33.
3. Коровин Д.И. О развитии экспертного метода анализа моделей прогнозирования социально-экономических процессов // Современная математика и концепции инновационного математического образования. – 2022. – С. 138-146.
4. Кокодей Т.А., Горбачёва А.В., Посная Е.А. Формирование индивидуальной карьерной траектории выпускника ВУЗа // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2023. – № 2 (95). – С. 233-239.
5. Поздеева Е.Г. Мультиагентный подход и его преимущества в исследовании социальных процессов // Системный анализ в проектировании и управлении. – 2020. – С. 229-235. – DOI: 10.18720/SPBPU/2/id20-127.
6. Борисов В.В. Нечёткие когнитивные модели как основа для исследования сложных систем и процессов // Речевые технологии. – 2020. – № 1-2. – С. 48-62.
7. Kolodenkova A.E. and Muntyan E.R. Researches of interaction of actors with use fuzzy hypergraph and cognitive modeling // Papers in English 14th International scientific-technical conference on actual problems of electronics instrument engineering: IEEE, 2018. – Vol. 8. – P. 127-131. – DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545550.
8. Gorelova G.V. Cognitive modeling of complex systems: state and prospects // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 442 LNNS. – P. 212-224.
9. Boccaletti S., Bianconi G., Criado R., del Genio C.I., Gómez-Gardeñes J., Romanced M., Sendiña-Nadal J., Wangk Z., Zanin M. The structure and dynamics of multilayer networks. Preprint submitted to Physics Reports. – 2014. – 157 p.
10. Contractor N.S., Monge P.R., Leonardi P.M. Multidimensional networks and the dynamics of sociomateriality: bringing technology inside the network // International Journal of Communication. – 2011. – No. 5. – P. 682-720.
11. Мунтян Е.Р. Аспекты использования нечетких ГН-моделей для представления социальных отношений // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: технические науки. – 2020. – № 3 (7). – С. 113-121. – DOI: 10.46573/2658-5030-2020-3-113-121.
12. Сергеев Н.Е., Целых Ю.А. ГН-модели социальных сетей // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 1 (90). – С. 90-95.
13. Еремеев А.П., Мунтян Е.Р. Разработка онтологии на основе графов с множественными и разнотипными связями // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2021. – №3. – С. 3-18. – DOI: 10.14357/20718594210301.
14. Зяблова Е.Р. Использование графовых подходов для решения задачи прогнозирования в области формирования карьерных траекторий. //Тр. XII Международной научно-практической конференции «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте». В 2-х т. Т. 1. – Смоленск: Универсум, 2024. – С. 150-158.
15. Ярушклина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.
16. Мунтян Е.Р., Колоденкова А.Е. Использование парсера социальных сетей для моделирования организационных систем // Информатизация и связь. – 2022. – № 2. – С. 30-34. – DOI: 10.34219/2078-8320-2022-13-2-30-34.
17. Мунтян Е.Р. Формирование цифрового портрета субъекта на основе парсинга сети для построения карьерной траектории // Информатизация и связь. – 2023. – № 2. – С. 36-41. – DOI: 10.34219/2078-8320-2023-14-2-36-41.

18. Мунтян Е.Р. Разработка алгоритма пропорционального разделения GH-графа для формирования зон влияния объектов в сложных технических системах // Программные продукты и системы. – 2023. – Т. 36, № 3. – С. 378-387. – DOI: 10.15827/0236-235X.143.378-387.
19. Ипатов Ю.А., Калагин И.В. Анализ динамических характеристик целевых групп социальных сетей // Кибернетика и программирование. – 2019. – № 1. – С. 37-50. – DOI: 10.25136/2644-5522.2019.1.18417.
20. Мунтян Е.Р. Подходы к догенерации графа репрезентативной выборки для моделирования взаимодействия социальных групп // Информатизация и связь. 2018. – № 4. – С. 18-24.
21. Зяблова Е.Р., Волощук В.И. Организация поиска сообществ в социальных сетях с использованием GH-графов // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: Сб. статей по материалам научной VII Всероссийской Поспеловской конференции. Калининград, Санкт-Петербург, 2024. – С. 294-302.
22. Зяблова Е.Р. Модификация алгоритма поиска кратчайших путей GH-графа для анализа сложных технических систем // Программные продукты и системы. – 2024. – Т. 37 № 3. – С. 354-363. – DOI: 10.15827/0236-235X.147.354-363.

REFERENCES

1. Malkov S.Yu., Shpyrko O.A. Osobennosti social'nykh vzaimodeystviy: bazovaya model' [Features of social interactions: a basic model], *Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie* [Computer research and modeling], 2023, Vol. 15, No 6, pp. 1673-1693.
2. Andrianova T.V. Ekspertnoe soobshchestvo v modelirovanii social'nogo vzaimodeystviya: vozmozhnosti i bar'ery [Expert community in modeling social interaction: opportunities and barriers], *Sb. nauchnykh trudov: Ekspertnye instituty v XXI veke: printsipy, tekhnologii, kul'tura* [Collection of scientific papers: Expert institutions in the XXI century: principles, technologies, culture], Irkutsk. Publishing house: Irkutsk State University, 2022, pp. 30-33.
3. Korovin D.I. O razvitii ekspertnogo metoda analiza modeley prognozirovaniya social'no-ekonomicheskikh processov [On the development of an expert method for analyzing models of forecasting socio-economic processes], *Sovremennaya matematika i kontsepcii innovatsionnogo matematicheskogo obrazovaniya* [Modern mathematics and concepts of innovative mathematical education], 2022, pp. 138-146.
4. Kokodey T.A., Gorbacheva A.V., Postnaya E.A. Formirovanie individual'noy kar'ernoy traektorii vypusknika VUZa [Formation of an individual career trajectory of a university graduate], *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta* [Bulletin of the North Caucasus Federal University], 2023, No 2 (95), pp. 233-239.
5. Pozdeeva E.G. Mul'tiagentnyy podkhod i ego preimushchestva v issledovanii sotsial'nykh protsessov [Multi-agent approach and its advantages in the study of social processes], *Sistemnyy analiz v proektirovanii i upravlenii* [System analysis in design and management], 2020, pp. 229-235.
6. Borisov V.V. Nechetkie kognitivnye modeli kak osnova dlya issledovaniya slozhnykh sistem i protsessov [Fuzzy cognitive models as a basis for the study of complex systems and processes], *Rechevye tekhnologii* [Speech technologies], 2020, No. 1-2, pp. 48-62.
7. Kolodenkova A.E. and Muntyan E.R. Researches of interaction of actors with use fuzzy hypergraph and cognitive modeling, *Papers in English 14th International scientific-technical conference on actual problems of electronics instrument engineering: IEEE, 2018*, vol. 8, pp. 127-131.
8. Gorelova G.V. Cognitive modeling of complex systems: state and prospects, *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, Vol. 442 LNNS, pp. 212-224.
9. Boccaletti S., Bianconi G., Criado R., del Genio C.I., Gómez-Gardeñes J., Romaned M., Sendiña-Nadal J., Wang Z., Zanin M. The structure and dynamics of multilayer networks. Preprint submitted to *Physics Reports*, 2014, 157 p.
10. Contractor N.S., Monge P.R., Leonardi P.M. Multidimensional networks and the dynamics of sociomateriality: bringing technology inside the network, *International Journal of Communication*, 2011, No 5, pp. 682-720.
11. Muntyan E.R. Aspekty ispol'zovaniya nechetkikh GH-modeley dlya predstavleniya sotsial'nykh otnosheniy [Aspects of using fuzzy GH-models for representing social relations], *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: tekhnicheskie nauki* [Vestnik of Tver State Technical University. Series «Technical Science»], 2020, No 3 (7), pp. 113-121.
12. Sergeev N.E., Tselykh Yu.A. GH-modeli sotsial'nykh setey [GH-models of social networks], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [News of the Southern Federal University. Technical sciences], 2009, No 1 (90), pp. 90-95.

13. Ereemeev A.P., Muntyan E.R. Razrabotka ontologii na osnove grafov s mnozhestvennymi i raznotipnymi svyazyami [Development of an ontology based on graphs with multiple and different types of edges], *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial intelligence and decision making], 2021, No 3, pp. 3-18.
14. Zyablova E.R. Ispol'zovanie grafovyykh podkhodov dlya resheniya zadachi prognozirovaniya v oblasti formirovaniya kar'ernykh traektoriy [The use of graph approaches to solve the problem of forecasting in the field of career trajectories formation], *Tr. XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Integrirovannye modeli i myagkie vychisleniya v iskusstvennom intellekte»* [Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference "Integrated models and soft computing in artificial intelligence"], in 2 vol. Vol. 1. Smolensk: Univerzum, 2024, pp. 150-158.
15. Yarushkina N.G. Osnovy teorii nechetkikh i gibridnykh sistem [Fundamentals of the theory of fuzzy and hybrid systems], Moskva: Finansy i statistika, 2004, 320 p.
16. Muntyan E.R., Kolodenkova A.E. Ispol'zovanie parsera social'nykh setey dlya modelirovaniya organizatsionnykh sistem [Using a social network parser for modeling of organizing systems], *Informatizatsiya i svyaz'* [Informatization and communication], 2022, No 2, pp. 30-34.
17. Muntyan E.R. Formirovanie tsifrovogo portreta sub"ekta na osnove parsinga seti dlya postroeniya kar'ernoy traektorii [Formation of a digital portrait of the subject based on network parsing to build a career trajectory], *Informatizatsiya i svyaz'* [Informatization and communication], 2023, No 3, pp. 36-41.
18. Muntyan E.R. Razrabotka algoritma proporsional'nogo razdeleniya GH-grafa dlya formirovaniya zon vliyaniya ob"ektov v slozhnykh tekhnicheskikh sistemakh [Developing a GH-graph proportional separation algorithm to form of object influence zones in complex technical systems], *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems], 2023, vol. 36(3), pp. 378-387.
19. Ipatov Yu.A., Kalyagin I.V. Analiz dinamicheskikh kharakteristik tselevykh grupp sotsial'nykh setey [Analysis of dynamic characteristics of target groups of social networks], *Kibernetika i programirovanie* [Cybernetics and programming], 2019, No. 1, pp. 37-50.
20. Muntyan E.R. Podkhody k dogeneratsii grafa reprezentativnoy vyborke dlya modelirovaniya vzaimodeystviya sotsial'nykh grupp [Approaches to the graph increasing of representative sample for modeling the interaction of social groups], *Informatizatsiya i svyaz'* [Informatization and communication], 2018, No 4, pp. 18-24.
21. Zyablova E.R., Voloshchuk V.I. Organizatsiya poiska soobshchestv v sotsial'nykh setyakh s ispol'zovaniem GH-grafov [Organization of community search in social networks using GH graphs], *Gibridnye i sinergeticheskie intellektual'nye sistemy: Sb. statej po materialam nauchnoy VII Vserossiyskoy Pospelovskoy konferentsii* [Hybrid and synergetic intelligent systems. collection of articles based on the materials of the scientific VII All-Russian Pospelov conference], Kaliningrad, St. Petersburg, 2024, pp. 294-302.
22. Zyablova E.R. Modifikatsiya algoritma poiska krachayshikh putey GH-grafa dlya analiza slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Modification of the algorithm for finding shortest paths for the formation of influence zones of objects in complex technical systems on GH-graphs], *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems], 2024, vol. 37, No 3, pp. 354-363.

Зяблова Евгения Ростиславна – Южный федеральный университет; e-mail: zero32f@mail.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: 88634371656; кафедра вычислительной техники; к.т.н.; доцент.

Zyablova Evgenia Rostislavna – Southern Federal University; e-mail: zero32f@mail.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371608; the Department of Computer Science; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 517.977.1

DOI 10.18522/2311-3103-2024-6-142-155

Ю.А. Кораблёв

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СХОДСТВА ОСТАВШЕГОСЯ ПОЛЕЗНОГО СРОКА СЛУЖБЫ

В этой статье показано, как построить полный рабочий процесс оценки оставшегося полезного срока службы (Retaining Useful Life - RUL), включая этапы предварительной обработки, выбора трендовых функций, построения индикатора работоспособности путем объединения датчиков, обучения оценщиков сходства RUL и проверки эффективности прогнозирования. Тестирование метода проводилось в демонстрационной программе MATLAB, реализующей данный