

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГРАФА ЗАМКНУТЫХ ТРАНЗАКЦИЙ МЕЖДУ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ АГЕНТАМИ¹

А. А. Паначев, Е. В. Адияк, Д. Б. Берг

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
Екатеринбург, Российская Федерация*

Основной целью исследования является разработка алгоритма идентификации экономических сообществ с замкнутыми финансовыми потоками на территории отдельного муниципального образования. Представлено описание логики авторского алгоритма. Алгоритм протестирован и апробирован на реальном объекте исследования. Осуществлен поиск локальных предпринимательских сообществ в городе с населением 59 тысяч жителей. Анализ производился на основании выборки из 12 000 транзакций между 2 933 юридическими лицами в течение одного месяца. Транзакции производились в четырех отделениях крупнейшего банка. Всего было обнаружено 17 замкнутых сетей со 102 организациями-участниками. Самая большая сеть агентов состоит из 59 организаций-участников. Сравнение самой большой сети со случайными графами (Бернулли, мультиномиальный) показало, что структура формируется неслучайным образом.

Ключевые слова: замкнутые финансовые потоки, автономизация финансов, поиск замкнутых транзакций, экономические сообщества, случайный граф Бернулли.

Для цитирования: *Паначев А. А., Адияк Е. В., Берг Д. Б.* Алгоритм идентификации графа замкнутых транзакций между экономическими агентами // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 3. С. 94–104. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-3-94-104.

Введение

Основная цель экономической деятельности коммерческих предприятий – получение прибыли [1]. Одной из стратегий по максимизации прибыли является экстенсивный рост предприятия. Достигается это в части случаев через покупку более сильными игроками на рынке более слабых или перспективных, но еще не достигших пика экономического роста. Этот процесс приводит к централизации целых секторов экономики в руках нескольких ключевых игроков [2]. Прослеживается тенденция к формированию олигополии.

Централизация секторов экономики в руках нескольких организаций приводит к ослаблению конкурентных позиций локальных предприятий в муниципалитетах. Они не способны конкурировать с более сильными федеральными игроками, которые вытесняют с рынка мелкие предприятия за счет демпинга цен (эффект масштаба). Предприятия закрываются.

Большим игрокам также экономически нецелесообразно держать производственные и распределительные центры в каждом регионе, они централизуются в областных центрах, последующая логистика осуществляется оттуда. Следовательно, мы наблюдаем сокращение рабочих мест, а также миграцию работоспособного населения в сторону больших городов, где формируются рабочие места [3]. Ускоряется процесс урбанизации.

Все вышеописанные тенденции характерны и для российской экономики. В России 30 лет экономических реформ привели к существенной концентрации финансового капитала в столице (более 80 %), появлению крупных торговых сетей федерального масштаба, в результате чего не только исчезли с рынка многие мелкие производители, но и произошел разрыв важных экономических связей на местном уровне.

Одним из возможных сценариев развития регионов в эпоху централизации производства является укрепление и наращивание экономических связей между локальными предприятиями на уровне конкретного муниципалитета [3].

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-010-00974 «Экспериментальные институциональные модели автономизации финансов местных сообществ в условиях снижения доверия населения к формам участия в бюджетном процессе».

Этот вопрос уже ранее исследовался. В период кризиса неплатежей в России 90-х гг. возникла задача обнуления взаимных долгов предприятий, связанных одной технологической цепочкой или сетью взаимных поставок на территории региона. Необходимо было вычислить взаимные задолженности и произвести взаимозачет [4, 5]. Математическое решение было сформировано на базе транспортной задачи [6, 7].

Цель данного исследования схожа: на основании экспериментальных данных разработать методику идентификации территориально-локализованных экономических сообществ с замкнутыми финансовыми потоками и изучить их структуру для выявления способности к самообеспечению (аутопозису).

В рамках достижения цели исследования предстоит решить ряд задач:

- описать логику алгоритма поиска замкнутых транзакций внутри экономических сообществ;
- выявить наличие локальных предпринимательских сообществ через анализ реальных банковских транзакций;
- найти сбалансированные замкнутые финансовые потоки локальных сообществ (транзакции, производимые только между организациями на территории);
- проанализировать структуру обмена и способность локальных сообществ к самообеспечению (аутопозису) [8] и автономизации [9];
- понять, случайным ли образом формируются данные сообщества.

Идентификация замкнутых потоков в производственных сетях

На данный момент существует несколько решений, которые позволяют найти замкнутые потоки транзакций. В частности, О. М. Зверева и Г. А. Агарков в своих работах [10, 11] прорабатывали возможные варианты, основанные как на авторских методиках, так и на решении транспортной задачи закрытого типа.

Авторами настоящей работы был написан собственный алгоритм на языке Python, который обладает иной логикой и имеет существенное преимущество в скорости обработки информации.

Схематично, в упрощенном виде алгоритм может быть представлен в виде блок-схемы (рис. 1).

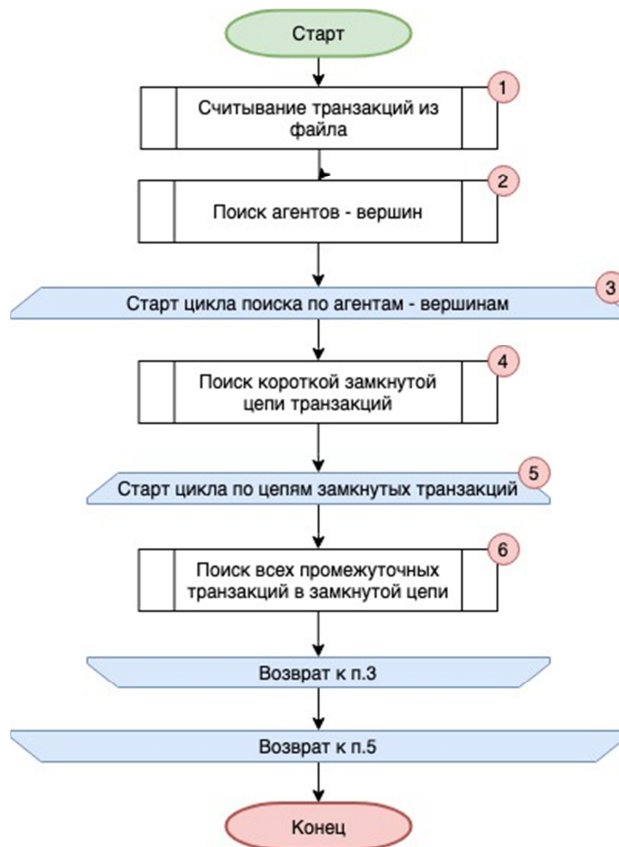


Рис. 1. Схема алгоритма поиска замкнутых сообществ по банковским транзакциям

На шаге 1 схемы для поиска замкнутых транзакций требуется набор транзакций на вход (TR), который представлен несколькими колонками: «плательщик», «получатель», «сумма», «дата».

На основании файла с данными по транзакциям, сформированного из автоматизированной банковской системы в обезличенном виде, и суммами, помноженными на n , формируется матрица плательщиков/получателей размерности M на N (количество i и j агентов матрицы): $W_{M \times N} = (W_{ij})$, где сумма транзакций между плательщиком (i -агентом) и получателем (j -агентом) не равна 0 ($W_{ij} \neq 0$).

На шаге 2 система находит агентов, которые одновременно присутствуют и среди плательщиков (i), и среди получателей (j). Данные агенты записываются в множество $A = \{a_1, \dots, a_n\}$. Проверка на то, что плательщик присутствует среди получателей, осуществляется по следующей логике: $\{\forall W_{i1} \subseteq A : W_{i1} \subseteq \{W_{1j}, \dots, W_{nj}\}\}$.

После формирования множества потенциальных вершин (A) на шаге 3 схемы запускается цикл по каждому значению $\forall a_n \in A$, где порядковый индекс выступает значением периода поиска $n = t$.

Перед запуском функции поиска замкнутых цепочек транзакций (cf) объявляется множество замкнутых значений по агенту $AG = \{b_1, \dots, b_n\}$, не содержащему изначально значений $\emptyset \subseteq AG$.

На шаге 4 запускается функция

$$cf(W_{M \times N}, CT(t), AG, RC), \quad (1)$$

где на вход передаются матрица транзакций $W_{M \times N}$; множество с найденными цепочками в текущий момент времени $CT(t) = \{q_1, \dots, q_n\}$; множество замкнутых значений по агенту AG , в которое перед запуском передается первый агент цепи $\{a_n \subseteq AG\}$.

Функция cf начинает перебор по элементам (b_n) множества AG и дополняет его значениями по следующей логике:

$$\{\forall W_{b_n j} \subseteq AG : W_{b_n j} \neq b_1 \wedge W_{b_n j} \not\subseteq CT \wedge W_{b_n j} \not\subseteq RC \wedge W_{b_n j} \neq 0\}.$$

В правой части с условиями проверяется, что плательщик не осуществляет платеж сам себе, найденная транзакция в матрице еще не была включена в общее результирующее множество с замкнутыми цепочками транзакций (CT), найденная транзакция не является дублем уже найденной (RC), сумма транзакции в денежном выражении не равна 0.

Следующим шагом в цикле по каждому агенту $b_n \in AG$ осуществляется проверка, что цепь замыкается (платеж вернулся к первоначальному отправителю (b_n)). Если так, то транзакция переносится в результирующее множество (CT): $\{AG \subseteq CT : W_{b_n j} = b_1 \wedge W_{b_n j} \neq 0\}$.

После того, как найдена цепь транзакций из n -агентов, необходимо внести значение в множество с дублями $\{q_n \subseteq RC\}$ для дальнейших проверок, а также осуществить проверку, что нет более длинной цепи после предпоследнего шага. Алгоритм убирает замыкающего агента $\{b_n \not\subseteq AG\}$ и возвращается к формуле (1). Функция работает до тех пор, пока по агенту b_n не будут найдены все цепочки транзакций.

Алгоритм нашел первую замкнутую цепочку и внес значения в множество CT . Далее он формирует массив возможных агентов цепочек, найденных за последнюю итерацию t с помощью декартова произведения, значения вносит в множество AGC с подмножествами D (состоит из пары «плательщик – получатель»):

$$AGC(t) = ((CT(t-1) \setminus CT(t))(CT(t-1) \setminus CT(t))), \quad (2)$$

где $AGC(t) = \{D_1, \dots, D_n\}$; $D = \{d_1, \dots, d_n\}$; $|D_n| = 2$.

После поиска всех возможных комбинаций среди i -, j -агентов цепей, найденных за последнюю итерацию, на шаге 6 система осуществляет углубленный поиск через функцию

$$es(W_{M \times N}, AGC(t), RC) = NT,$$

где NT – массив новых найденных транзакций в рамках последней комбинаций $AGC(t)$; $W_{M \times N}$ – матрица транзакций; RC – множество для контроля дублей по транзакциям.

Внутри функции осуществляется цикл по каждой паре значений, найденных в рамках декартового произведения $\forall D_n \subseteq AGC(t)$. Расширенный поиск транзакций среди комбинаций осуществляется исходя из следующих условий:

$$\{W_{d_1 d_2} \subseteq AG : d_1 \neq d_2 \wedge W_{d_1 d_2} \not\subseteq CT \wedge W_{d_1 d_2} \not\subseteq RC \wedge W_{d_1 d_2} \neq 0\}.$$

Логика es схожа с логикой функции cf с единственной разницей: если в cf условием для включения цепи в AG является возврат транзакции к первоначальному агенту $(A \rightarrow B \wedge B \rightarrow A) \rightarrow AG$, то в es осуществляется проверка факта транзакции между комбинациями подмножеств D_n множества AGC : $(d_1 \rightarrow d_2) \rightarrow AG$. По схожей логике с cf , после того как найдена новая сеть, осуществляется перемещение в CT и пополнение RC . Если в течение работы функции es найдена хотя бы 1 новая цепочка транзакций, функция возвращается к формуле (2).

Фактическая идентификация локальных предпринимательских сообществ и замкнутых потоков, в рамках данной работы, основана на данных по группе транзакций, которые прошли в 4 отделениях крупнейшего банка страны, в городе с населением 59 тыс. человек, между юридическими лицами. Отделения находятся на территории городского округа, входящего в одну из крупнейших агломераций на территории Российской Федерации.

В качестве анализируемой выборки был применен набор транзакций, произведенный между 2 933 организациями в течение 1 месяца (1 1791 транзакции).

В результате обработки было выявлено 17 замкнутых сообществ.

Соотношение количественных показателей полной сети транзакций и показателей в рамках замкнутых экономических сообществ представлено в табл. 1.

Таблица 1

Количественные показатели локализованных экономических сообществ

Показатель	Все данные	Замкнутые сообщества	Доля замкнутых сообществ, %
Участников, шт.	2 933	102	3,5
Транзакций, шт.	11 791	262	2,2
Оборот, тыс. руб.	2 706 528	283 624	10,5

Из представленной выше таблицы можно сделать вывод, что 10,5 % от всего оборота между юридическими лицами в рамках одного банка проходило в замкнутых сообществах. Следует отметить, что данный объем обеспечили 102 организации. Они участвуют в замкнутых сообществах как транзитивные узлы, т. е. каждая из данных организаций одновременно отправляет и получает транзакции в рамках экосистемного сообщества. Но было бы некорректно утверждать, что данные организации осуществляют платежи только в рамках сообщества и нигде больше. У них также есть транзакции в отношении внешних контрагентов, которые не входят в сообщество. В рамках данной работы в том числе производился анализ структуры транзакций 102 организаций, в частности анализировалось соотношение транзакций внутри и вне сети. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Доля внутренних транзакций участников экосистемного сообщества (102 организации)

Показатель	Внутри экосистемы	Общее количество транзакций	Доля экосистемы, %
Контрагентов, шт.	102	1 234	8,3
Транзакций, шт.	262	4 901	5,7
Оборот, тыс. руб.	283 624,32	1 064 723,07	26,6

Транзакции, которые осуществляют юридические лица в рамках замкнутого контура, составляют 26,6 % от их общего оборота. Остальной объем движения денежных средств обеспечивается за счет транзакций с 1 132 внешними контрагентами (разница между общим количеством контрагентов и количеством контрагентов внутри экосистемы).

Отрасли участников широко диверсифицированы и представлены следующими экономическими областями:

- оптовая торговля;
- производство сухих строительных смесей;
- лизинг жилой недвижимости;
- издание книг;
- грузоперевозки;
- телекоммуникации и др.

В общей сложности данные найденных 17 сообществ представлены 67 отраслями экономики.

Самое большое среди найденных сообществ включает 59 организаций-участников. С помощью спроектированной матрицы связей был построен граф для наглядной иллюстрации сообщества [12]. Граф представлен на рис. 2.

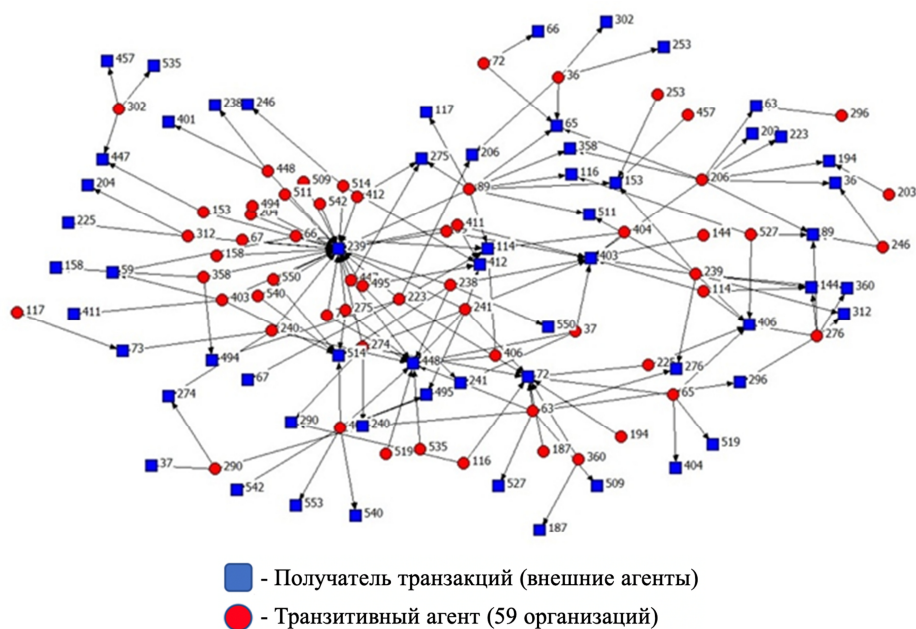


Рис. 2. Закрытое сообщество из 59 агентов и связанные с ним внешние компании

Квадратные узлы графа – агенты, которые не отправляют транзакции, а только принимают их. Круглыми узлами обозначены агенты, которые получают и передают транзакции. Такие узлы называются «транзитивными».

Также на рис. 2 явно выделяются агенты, которые принимают и отправляют наибольшее число транзакций в финансовом потоке сообщества. Эти компании являются агентами, которые потребляют и производят наибольшее количество продуктов и услуг в рамках данного сообщества. Ниже приведены, в качестве примера, агенты (их порядковый номер в графе) и отрасль, которую они представляют:

- производство сухих строительных смесей (65);
- компания, занимающаяся оптовой торговлей лакокрасочными изделиями (72);
- производство изделий из бетона для строительства (89);
- техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств (153);
- компания по сбору, очистке и распределению воды (239);
- компания, работающая в сфере обеспечения электроэнергией (403);
- производство, передача и распределение пара и горячей воды (412);
- управление эксплуатацией жилого фонда (494) и др.

Группа из 59 организаций-участников (см. рис. 2) экосистемного сообщества (без учета внешних организаций, получающих транзакции от экосистемного сообщества) имеет реальную экономическую основу для автономизации своих финансов, поскольку все они связаны друг с другом общей хозяйственной деятельностью, локализованной на данной территории. Эти компании объединяются в замкнутую сеть (кластер). Кластер состоит из организаций, производящих конечный продукт, а также из поддерживающих организаций (логистических, строительных компаний, организаций общественного питания и др.).

В нашем случае представлено сообщество, где организации задействованы в отраслях, связанных с производством и распределением строительных материалов (примеры представлены выше). Далее необходимо осуществить проверку на случайность формирования данного сообщества. Для этого было произведено сравнение реального графа транзакций со случайными графами (граф Бернулли, мультиномиальный граф) [13, 14].

Сравнение со случайными графами

Для построения случайных графов было необходимо взять реальные параметры плотности и мощности. За основу для моделирования были взяты параметры самой большой сети из 59 агентов.

Полученные графы представлены на рис. 3 и 4.

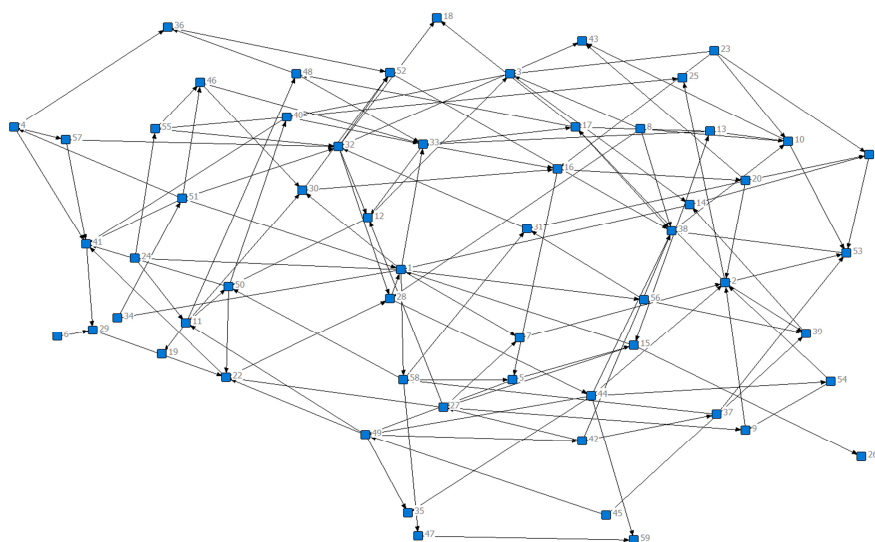


Рис. 3. Граф Бернулли

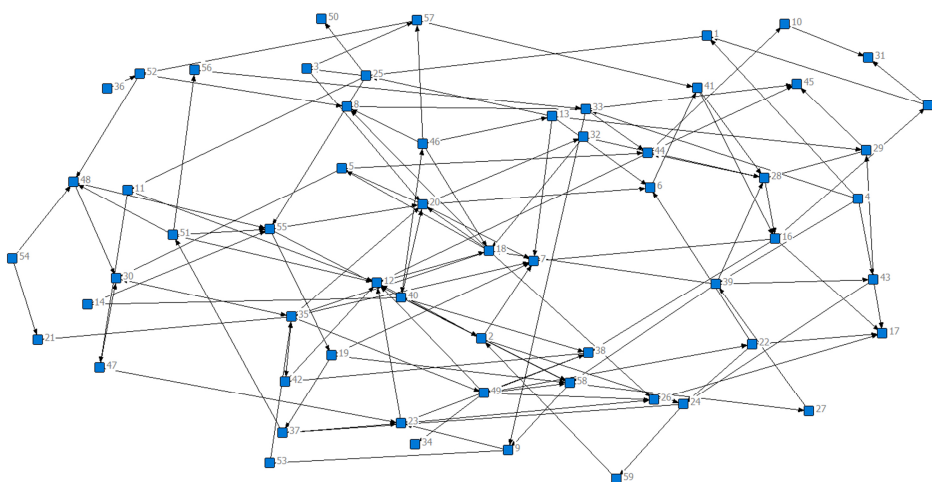


Рис. 4. Мультиномиальный граф

Для сравнения интегральных параметров графов с реально существующей сетью использовались структурные параметры методологии SNA [13, 15, 16], которые представлены в табл. 3.

Таблица 3

Интегральные параметры SNA (Social Network Analysis) методологии

Параметр	Формула	Атрибуты
D	$D = \max_{i,j=1,\dots,n} (d(n_i, n_j))$	$d(n_i, n_j)$ – кратчайший геодезический путь между n_i – агентом i и n_j – агентом j
Re	$Re = \sum L_p / \sum L$	L – количество связанных диад L_p – количество взаимных связей
Tr	$Tr = N_i / N_d$	N_i – количество транзитивных диад N_d – количество триплетов, где есть связи от агента n_i к агенту n_j и от агента n_j к агенту n_k
CC	$CC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i$	C_i – плотность соседства i -го агента
$IDCenz$	$\frac{\sum_{i=1}^n (IDC^* - IDC_i)}{\max_{i,j=1,\dots,n} \sum_{i=1}^n (IDC^* - IDC_i)}$	IDC^* – входная центральность по степени центрального агента IDC_i – входная центральность по степени i -го агента
$ODCenz$	$\frac{\sum_{i=1}^n (ODC^* - ODC_i)}{\max_{i,j=1,\dots,n} \sum_{i=1}^n (ODC^* - ODC_i)}$	ODC^* – выходная центральность по степени центрального агента ODC_i – выходная центральность по степени i -го агента
$BCenz$	$\frac{\sum_{i=1}^n (BC^* - BC_i)}{\max_{i,j=1,\dots,n} \sum_{i=1}^n (BC^* - BC_i)}$	BC^* – центральность по посредничеству центрального агента BC_i – центральность по посредничеству i -го агента

Интегральные параметры SNA методологии можно разделить на 4 основные группы: минимальные подгруппы (триады, диады); эго-сети; параметры всей сети; отдельные агенты [17, 18].

Диаметр (D) – показатель, отражающий самый длинный геодезический путь (количество узлов между самыми дальними агентами сети) между агентами сети [18]. На основании данного показателя можно сделать вывод о «плотности» сети.

Коэффициент взаимности (Re) – отношение количества связанных между собой агентов к общему количеству агентов сети.

Транзитивность (Tr) – показатель, характеризующий количество транзитивных триад (агентов) в сети, задействованных в «сквозных» транзакциях. Триада считается транзитивной, если она одновременно принимает и осуществляет транзакции. Транзитивность описывает склонность агентов сети к взаимодействию между собой внутри сообщества. Транзитивная триада – основа существования равновесия в сети [19].

Коэффициент кластеризации (CC) – показатель, характеризующий степень «связанности» сообщества [20]. Он представляет собой среднее значение плотности эго-сетей для каждого участника сети (агента) [21].

Представленная группа интегральных параметров не включает количественные показатели, что обеспечивает возможность сравнить сеть из 59 агентов со случайными графами (Бернулли, мультиномиальный). Сравнение интегральных показателей можно увидеть в табл. 4.

Таблица 4

Рассчитанные интегральные параметры SNA методологии

Параметр	Граф транзакций (59 агентов)	Случайный граф Бернулли	Отличия графа Бернулли от графа транзакций, %	Мультиномиальный граф	Отличия мультиномиального графа от графа транзакций, %
D	18	10	44,5	13	28
Re	0,025	0,013	48	0,019	24
Tr	0,126	0,048	61,9	0,040	68,2
CC	0,454	0,182	59,9	0,293	35,5
$IDCenz$	0,414	0,077	81,4	0,1	75,8
$ODCenz$	0,108	0,075	30,5	0,065	39,8
$BCenz$	0,23	0,106	53,9	0,173	24,8

В результате сравнения параметров можно сделать вывод, что значение диаметра графа транзакций из 59 агентов больше диаметра графа Бернулли и мультиномиального графа на 44,5 и 28 % соответственно; коэффициент взаимности больше на 48 и 24 %, а коэффициент транзитивности на 61,9 и 68,2 %. Коэффициент сетевой кластеризации реального графа также больше графа Бернулли и мультиномиального графа на 59,9 и 35,5 %.

В реальном графе транзакций сеть более компактна, чем смоделированная случайным образом. Его узлы имеют больше транзитивных свойств (больше транзакций для каждого сетевого агента), а также транзакции возвращаются чаще (выше показатель взаимности) [22].

Индикатор *IDCenz* (внутренняя степень центральности) у реального графа в 4 раза больше, чем у случайных графов, что говорит о склонности сети отправлять транзакции в сторону ключевых узлов – «знаменитостей» (организаций, принимающих транзакции от наибольшего числа контрагентов).

В результате сравнения интегральных параметров можно сделать вывод, что реальная сеть транзакций не носит схожий характер со случайными графами той же плотности и мощности. В нее входят агенты, связанные реальными экономическими отношениями.

Полученные в рамках исследования результаты могут быть использованы для более детального понимания функционирования локальной экономики. В дальнейшем можно исследовать варианты объединения независимых сообществ в более крупные, что мультипликативно увеличит количество деловых связей между агентами. Это может способствовать улучшению экономической стабильности муниципалитета и самовоспроизведению ресурсов для внутреннего потребления. Данный тезис требует дальнейшего исследования.

Заключение

Описан принцип работы алгоритма поиска замкнутых транзакций внутри локальных экономических сообществ в формате математической логики. Сама программа для обработки набора данных по транзакциям, с применением представленной логики, реализована на языке Python.

С помощью представленного алгоритма, анализирующего данные банковских транзакций, было найдено 17 замкнутых местных сообществ. Участники сообществ представляют собой организации, которые задействованы в дополняющих друг друга экономических отраслях (строительство, логистика и др.). Среди найденных сообществ было выделено наиболее крупное, состоящее из 59 участников, затрагивающее 20 отраслей экономики. Следует отметить, что введение в расчеты физических лиц существенным образом увеличит внутренние обороты на территории.

Также в рамках работы была произведена проверка на случайность формирования экономического сообщества. В результате выявлено, что сеть формировалась не случайным образом. Для проверки были построены случайные графы (граф Бернулли, мультиномиальный граф). Случайные графы сравнивались с реально существующей сетью с помощью методологии SNA (Social Network Analysis).

Результаты данной работы могут быть использованы для дальнейшего исследования управления ростом локальных сообществ и укрепления связей внутри муниципалитета, а также для создания локальных платежных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садоян М. М. Роль глобализации в повышении общественного производства // Экон. вестн. Рост. гос. ун-та. 2020. № 4. С. 322–325.
2. Колоколов В. А. Производство и глобализация экономики // Успехи современного естествознания. 2004. № 3. С. 114–115.
3. Быченко Ю. Г., Шабанов В. Л. Современная миграция сельского населения: особенности, направления, последствия // Вестн. Саратов. гос. социально-эконом. ун-та. 2012. № 2. С. 136–142.
4. Пляскина Н. И., Харитонов В. Н., Гимади Э. Х., Гончаров Е. Н. Сетевые модели координации принятия решений в межотраслевых мегапроектах освоения нефтегазовых регионов // Вестн. НГУ. Сер.: Социально-экономические науки. 2012. Т. 12. № 3. С. 97–109.
5. Агарков Г. А., Зыков В. В. Бизнес и государство: актуальные проблемы взаимодействия // Экономика региона. 2010. № 1 (21). С. 172–1876.

6. Гимади Э. Х., Сердюков А. И. Аксиальные трехиндексные задачи о назначении и коммивояжера: быстрые приближенные алгоритмы и их вероятностный анализ // Изв. высш. учеб. заведений. Математика. 1999. № 12. С. 19–25.
7. Попков В. В., Берг Д. Б., Ульянова Е. А., Селезнева Н. А. Моделирование как инструмент формирования товарной и финансовой сети в региональной экономике // Финансы региона. 2015. № 2. С. 236–246.
8. Berg D., Zvereva O. Identification of Autopoietic Communication Patterns in Social and Economic Networks // Analysis of Images, Social Networks and Texts. 4th International Conference, AIST 2015 (Yekaterinburg, Russia, April 9–11, 2015) // Communications in Computer and Information Science. 2015. V. 542. P. 286–294.
9. Сятчихин С. В., Шеломенцев А. Г. Особенности междисциплинарного подхода к исследованию форм самоорганизации местных сообществ в сфере финансов // Вест. УГНТУ. Наука, образование, экономика. Сер.: Экономика. 2019. № 3 (29). С. 24–32.
10. Берг Д. М., Зверева О. М. Особенности коммуникаций между функционально сопряженными агентами производственной сети // Вестн. СибГУТИ. 2015. № 1. С. 82–96.
11. Азарков Г. А. Влияние теневой экономики на социально-экономическое развитие региона // Вестн. УГТУ-УПИ. 2008. № 1. С. 75–79.
12. Берг Д. Б., Баринова Д. А., Давлетбаев Р. Х. Локализация расчетов между агентами предпринимательских сетей при реализации комплексного проекта // Наука, образование, общество. 2015. № 3. С. 11–17.
13. Зверева О. М., Давлетбаев Р. Х., Назарова Ю. Ю., Медведева М. А., Берг Д. Б. Сравнительный анализ структуры локальных предпринимательских сетей // Управление экономическими системами. 2016. № 8 (90). С. 31.
14. Райгородский А. М. Модели случайных графов и их применения // Тр. МФТИ. 2010. Т. 2. № 4. С. 130–140.
15. Градосельская Г. В. Сетевые измерения в социологии: учеб. пособие / под ред. Г. С. Батыгина. М.: Издат. дом «Новый учебник», 2004. 248 с.
16. *Advances in Social Network Analysis*. Research in the Social and the Behavioral Sciences. SAGE Publications, Inc., 1994. 300 p.
17. Newman M. E. J. The structure and function of complex networks // SIAM Review. 2003. V. 45. N. 2. P. 168–256.
18. Costa L. da F., Rodrigues F. A., Traverso G., Villas Boas P. R. Characterization of complex networks: A survey of measurements // Advances in Physics. February, 2007. V. 56 (1). P. 167–242.
19. Faust K. Comparing Social Networks: Size, Density, And Local Structure // Metodološki Zvezki. 2006. V. 3. N. 2. P. 185–216.
20. Phan Binh, Engo-Monsen K., Fjeldstad-Oystein D. Considering clustering measures: Third ties, means, and triplets // Social Networks. 2013. N. 35 (3). P. 300–308.
21. Hanneman R. A., Riddle M. Introduction to social network methods. URL: <http://faculty.ucr.edu/~hanneman/nettext/> (дата обращения: 04.01.16).
22. Marsden P. V. Network Data and measurement // Annual Review of Sociology. 1990. V. 16. P. 435–463.

Статья поступила в редакцию 09.02.2021

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Антон Анатольевич Паначев – аспирант кафедры анализа систем и принятия решений; Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; Россия, 620002, Екатеринбург; panachev1@mail.ru.

Екатерина Валентиновна Адияк – магистрант кафедры видеоанализа и анализа больших данных; Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; Россия, 620002, Екатеринбург; eadiyak@gmail.com.

Дмитрий Борисович Берг – д-р физ.-мат. наук, профессор; профессор кафедры анализа систем и принятия решений; Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; Россия, 620002, Екатеринбург; bergd@mail.ru.



ALGORITHM FOR IDENTIFYING GRAPH OF CLOSED TRANSACTIONS BETWEEN ECONOMIC AGENTS

A. A. Panachev, E. V. Adiyak, D. B. Berg

Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russian Federation

Abstract. The article considers developing the algorithm of local economic communities' identification on the municipal union territory. The description of authors' algorithm is presented. The algorithm was tested on the real object of research. Searching of local entrepreneurs' communities was conducted in the city with population of 59,000 citizens. The analyses were made according to sampling of 12, 000 transactions between 2 933 organizations during one month in 4 bank branches. There were found 17 closed networks with 102 organization-participants. The largest network of agents consists of 59 organizations-participants. The comparison of the largest network with random graphs (Bernoulli, Multinomial) showed that the structure is formed not randomly.

Key words: closed financial flows, reducing finance interaction, closed transactions searching, economic communities, Bernoulli random graph.

For citation: Panachev A. A., Adiyak E. V., Berg D. B. Algorithm for identifying graph of closed transactions between economic agents. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2021;3:94-104. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2021-3-94-104.

REFERENCES

1. Sadoian M. M. Rol' globalizatsii v povyshenii obshchestvennogo proizvodstva [Role of globalization in increasing social production]. *Ekonomicheskii vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, no. 4, pp. 322-325.
2. Kolokolov V. A. Proizvodstvo i globalizatsiia ekonomiki [Production and globalization of economy]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia*, 2004, no. 3, pp. 114-115.
3. Bychenko Iu. G., Shabanov V. L. Sovremennaia migratsiia sel'skogo naseleniia: osobennosti, napravleniia, posledstviia [Modern migration of rural population: features, directions, consequences]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta*, 2012, no. 2, pp. 136-142.
4. Pliaskina N. I., Kharitonova V. N., Gimadi E. Kh., Goncharov E. N. Setevye modeli koordinatsii priniatiia reshenii v mezhotraslevykh megaproektakh osvoeniia neftegazovykh regionov [Network models for coordinating decision-making in interbranch megaprojects for development of oil and gas regions]. *Vestnik NGU. Seriya: Sotsial'no-ekonomicheskie nauki*, 2012, vol. 12, no. 3, pp. 97-109.
5. Agarkov G. A., Zykov V. V. Biznes i gosudarstvo: aktual'nye problemy vzaimodeistviia [Business and state: topical problems of interaction]. *Ekonomika regiona*, 2010, no. 1 (21), pp. 172-1876.
6. Gimadi E. Kh., Serdiukov A. I. Aksial'nye trekhindeksnye zadachi o naznachenii i kommivoiazhera: bystrye priblizhennye algoritmy i ikh veroiatnostnyi analiz [Axial three-index assignment and traveling salesman problems: fast approximate algorithms and their probabilistic analysis]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Matematika*, 1999, no. 12, pp. 19-25.
7. Popkov V. V., Berg D. B., Ul'ianova E. A., Selezneva N. A. Modelirovanie kak instrument formirovaniia tovarnoi i finansovoi seti v regional'noi ekonomike [Modeling as tool for formation of commodity and financial network in regional economy]. *Finansy regiona*, 2015, no. 2, pp. 236-246.
8. Berg D., Zvereva O. Identification of Autopoietic Communication Patterns in Social and Economic Networks. *Analysis of Images, Social Networks and Texts. 4th International Conference, AIST 2015 (Yekaterinburg, Russia, April 9–11, 2015). Communications in Computer and Information Science*, 2015, vol. 542, pp. 286-294.
9. Siatchikhin S. V., Shelomentsev A. G. Osobennosti mezhdistsiplinarnogo podkhoda k issledovaniiu form samoorganizatsii mestnykh soobshchestv v sfere finansov [Features of interdisciplinary approach to studying forms of self-organization of local communities in finance]. *Vestnik UGNTU. Nauka, obrazovanie, ekonomika. Seriya: Ekonomika*, 2019, no. 3 (29), pp. 24-32.
10. Berg D. B., Zvereva O. M. Osobennosti kommunikatsii mezhdu funktsional'no sopriazhennymi agentami proizvodstvennoi seti [Features of communications between functionally coupled agents of production network]. *Vestnik SibGUTI*, 2015, no. 1, pp. 82-96.
11. Agarkov G. A. Vliianie tenevoi ekonomiki na sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie regiona [Influence of shadow economy on regional socio-economic development]. *Vestnik UGTU-UPI*, 2008, no. 1, pp. 75-79.
12. Berg D. B., Barinova D. A., Davletbaev R. Kh. Lokalizatsiia raschetov mezhdu agentami predprinimatel'skikh setei pri realizatsii kompleksnogo proekta [Localization of settlements between agents of entrepreneurial networks in implementation of complex project]. *Nauka, obrazovanie, obshchestvo*, 2015, no. 3, pp. 11-17.

13. Zvereva O. M., Davletbaev R. Kh., Nazarova Iu. Iu., Medvedeva M. A., Berg D. B. Sravnitel'nyi analiz struktury lokal'nykh predprinimatel'skikh setei [Comparative analysis of structure of local business networks]. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami*, 2016, no. 8 (90), p. 31.
14. Raigorodskii A. M. Modeli sluchainykh grafov i ikh primeneniia [Models of random graphs and their applications]. *Trudy MFTI*, 2010, vol. 2, no. 4, pp. 130-140.
15. Gradosel'skaia G. V. *Setevye izmereniia v sotsiologii: uchebnoe posobie* [Network measurements in sociology: tutorial]. Pod redaktsiei G. S. Batygina. Moscow, Izdat. dom «Novyi uchebnik», 2004. 248 p.
16. *Advances in Social Network Analysis. Research in the Social and the Behavioral Sciences*. SAGE Publications, Inc., 1994. 300 p.
17. Newman M. E. J. The structure and function of complex networks. *SIAM Review*, 2003, vol. 45, no. 2, pp. 168-256.
18. Costa L. da F., Rodrigues F. A., Traverso G., Villas Boas P. R. Characterization of complex networks: A survey of measurements. *Advances in Physics*, February, 2007, vol. 56 (1), pp. 167-242.
19. Faust K. Comparing Social Networks: Size, Density, And Local Structure. *Metodološki Zvezki*, 2006, vol. 3, no. 2, pp. 185-216.
20. Phan Binh, Engo-Monsen K., Fjeldstad-Oystein D. Considering clustering measures: Third ties, means, and triplets. *Social Networks*, 2013, no. 35 (3), pp. 300-308.
21. Hanneman R. A., Riddle M. *Introduction to social network methods*. Available at: <http://faculty.ucr.edu/~hanneman/nettext/> (accessed: 04.01.16).
22. Marsden P. V. Network Data and measurement. *Annual Review of Sociology*, 1990, vol. 16, pp. 435-463.

The article submitted to the editors 09.02.2021

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anton A. Panachev – Postgraduate Student of the Department of System Analysis and Decision Making; Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin; Russia, 620002, Ekaterinburg; panachev1@mail.ru.

Ekaterina V. Adiyak – Master's Course Student of the Department of Video and Big Data Analysis; Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin; Russia, 620002, Ekaterinburg; eadiyak@gmail.com.

Dmitry B. Berg – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor; Professor of the Department of Video and Big Data Analysis; Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin; Russia, 620002, Ekaterinburg; bergd@mail.ru.

