

## ПРИМЕНЕНИЕ КРАШ-ТЕСТОВ В ГРАФОВОЙ АНАЛИТИКЕ СЛОЖНЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛАТЕЖЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМЫ

Пыркина О.Е., Зададаев С.А.

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации  
Россия, г. Москва Ленинградский проспект д.49

OPyrkina@fa.ru, SZadadaev@fa.ru

*Аннотация: Работа посвящена анализу надежности и безопасности системы электронных платежей, моделируемой с помощью графовой аналитики. В рамках модели проводится анализ устойчивости системы на основе разработанных авторами краш-тестов, то есть моделирования последовательного разрушения и исключения из денежного оборота центральных и периферийных узлов системы. Рассмотрена динамика изменения метрических показателей графа при его разрушении (имитация хакерских атак, технических сбоев). Проводится определение критического уровня разрушения с помощью разработанной матрицы экономической безопасности.*

Ключевые слова: оборот электронных денег, графовая аналитика, метрики графа, краш-тесты, безопасность электронного денежного оборота.

### Введение

Стремительное внедрение цифровых технологий во все сферы современной жизни, включая финансовую деятельность, обуславливает необходимость разработки новых методов анализа и моделирования огромного числа возникающих при этом связей и взаимодействий. Одну из наиболее привлекательных и перспективных возможностей такого моделирования предоставляет теория сложных сетей и, в частности, графовая аналитика.

В современной банковско-финансовой сфере активно используется большое число систем электронных платежей различного рода, в частности, систем коммуникаций между банком и его клиентами, а также систем межбанковских коммуникаций (включая международные); их удобно рассматривать как технологически сложные сети и исследовать их свойства, опираясь на теорию сложных сетей<sup>72</sup>.

---

<sup>72</sup> В качестве примера таких сложных сетей в финансовой сфере можно привести систему международных банковских телекоммуникаций SWIFT (SWIFT, Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunications, Сообщество всемирных межбанковских финансовых телекоммуникаций - международная межбанковская система передачи информации и совершения платежей (<https://www.swift.com/m>)). С 2014 года ЦБ России стал предоставлять банкам страны услуги, аналогичные SWIFT, создав систему СПФС (<https://www.cbr.ru/PSystem/mes/>) (систему передачи финансовых сообщений), работающую на российской платформе CyberFT

Для изучения характеристик таких систем и устойчивости их к случайным повреждениям и целенаправленному разрушению, (а также для обнаружения возможного мошенничества в электронных платежных системах) в последние годы активно разрабатываются методы графовой аналитики, позволяющие легко расширять моделируемые системы до любых необходимых размеров, обнаружить, визуализировать и изучить возникающие в системах связи [1,2]. На основе метрик построенных графов, отражающих реальные взаимосвязи и взаимодействия в финансовых сетях и платежных системах, исследуются свойства и характеристики сети и оцениваются вероятности и последствия ее разрушения или сбоев любого происхождения.

Важность анализа систем подобного рода возрастает по мере увеличения объема мирового электронного денежного оборота. Имеющиеся в мировой финансовой практике случаи сбоев систем электронных платежей приводили к весьма существенным финансовым последствиям<sup>73</sup>.

## 1 Основные характеристики модели

### 1.1 Основные метрики графа, используемые в модели

В Финансовом университете при Правительстве РФ с помощью графовой аналитики проводились исследования [3] экономической безопасности системы электронных платежей для платежной системы стран - участниц ЕАЭС. Наибольшую эффективность для построения ранговых распределений и итоговой количественной оценки уровня экономической безопасности показали метрики центральности графа.

Метриками центральности (centrality measures) вершин (узлов) графа, или его геометрическими метриками, называются метрики, агрегирующие информацию о взаимном расположении связей и вершин графа. Понятие центральности определяет степень «важности» или «влияния» определенного узла (или кластера узлов) внутри графа. Аппарат построения таких метрик активно развивается в последние десятилетия для анализа социальных графов (Social Network Analyses, SNA). Числовые значения этих метрик дают много полезной информации для обнаружения связанных сообществ; такая методология разработана и широко применяется на практике, например, для анализа возможной террористической активности в сети Интернет [4].

После проведения моделирования для построения итоговой интегральной оценки уровня экономической безопасности были выбраны следующие метрики центральности:

1. Центральности по степени, или усредненная степень вершины  $D_i$  (degree centrality), которая определяется по матрице связности  $\begin{bmatrix} a_{ij} \end{bmatrix}$  графа  $G$ . Вершина с высоким значением этого параметра имеет высокую степень активности и информационного влияния в своей окрестности.

2. Центральность по посредничеству, или степень промежуточности  $B_i$  (betweenness centrality), рассчитывается по количеству кратчайших путей между узлами. Узлы с высоким значением этого показателя определяют распространение информации между двумя или более плотно связанными подмножествами графа, удаление таких узлов может оказать негативное воздействие на функционирование всей системы связей.

3. Центральность по близости, или степень близости  $C_i$  (closeness centrality, иногда используется термин information centrality, информационная центральность), вычисляется как величина, обратная нормированному расстоянию между узлами. Через узлы с малым показателем этого параметра можно быстрее достичь требуемых вершин графа.

4. Центральность собственного вектора, или метрика собственного вектора  $X_i$  (eigenvector centrality), вычисляется через собственное значение вектора как мера связи узла с его соседями. Эта метрика определяет, насколько тесно конкретный узел с номером  $i$  связан с другими хорошо связанными узлами.

5. Метрика, или ранг, индекса  $PR(i)$  (PageRank) дает возможность сравнивать относительную важность узлов (понятие первоначально вводилось для анализа гиперссылок Web – страниц) в графе,

---

<sup>73</sup> Остановка на 10 часов системы электронных платежей CHAPS Банка Англии 20 октября 2014 года вывела из оборота 600 миллионов фунтов стерлингов и остановила проведение многих сделок (A. White. House sales worth £600m lost in the ether when payments system crashed <https://www.telegraph.co.uk/finance/bank-of-england/11175018/UK-bank-payment-system-goes-offline.html>)

вычисляется рекуррентным образом, на основе количества связей конкретного узла графа с его соседями.

### 1.2 Методы построения графа системы электронных платежей

Вершинами в рассматриваемой графовой модели являлись участники электронного денежного оборота, ребра отображали связи между ними (все между двумя вершинами связи в модели отображались одним ребром). На данном этапе исследования рассматривались графы, не включающие в себя системы электронных платежей для физических лиц, поскольку нарушение системы связей такого рода не несет угрозы функционированию системы электронного денежного оборота в целом.

Моделирование включало в себя использование сравнительно небольших выборок организаций – участников оборота электронных денежных средств, поскольку было установлено, что при числе вершин графа более 300 граф становится насыщенным и его усредненные характеристики перестают меняться при увеличении числа вершин.

Граф модели строится на основе набора перечней вершин и ребер (эти перечни содержат информацию обо всех требуемых атрибутах). Для построения и анализа графа в модели используется свободно распространяемый программный пакет Gephi. Встроенные в этот пакет программы и алгоритмы позволяют находить числовые значения перечисленных выше метрик графа, визуализировать различные фрагменты графа; кроме того, этот пакет дает возможность проводить поиск сообществ внутри полученного графа с помощью известных алгоритмов поиска сообществ.

### 1.3 Выведение из оборота отдельных участников платежной системы. Краш – тесты

Отработка методики количественной и качественной оценки уровня надежности и устойчивости системы электронных платежей проводилась при помощи краш-тестов, то есть имитации нарушения работы центральных и периферийных узлов графа. При моделировании прослеживалась динамика изменения метрик графа при его разрушении (имитация хакерских атак, технических сбоев), влияющих на функционирование сети в целом, и определялся критический уровень разрушения, при котором система перестает эффективно функционировать.

Более простой вариант методологии изучения функционирования сети при нарушении работы одного или нескольких узлов ранее применялся для изучения распространения кризисных явлений (кризис 2008 года, [5]) в сетях, соединяющих экономических агентов, но рассматривалась лишь одна метрика центральности по близости, *closeness centrality*.

## 2 Методика ранжирования и оценки устойчивости системы.

Для построения качественной и количественной оценок устойчивости и надежности системы на основе метрик центральности графа была отработана на краш-тестах следующая процедура построения ранговых распределений и интегральной оценки:

1. диапазон значений каждой описанной выше метрики графа, рассчитанной программой Gephi, разбивается на четыре квартиля стандартным образом;
2. для метрик центральности  $D_i$ ,  $B_i$ ,  $x_i$  и  $PR(i)$ :
  - а) вершинам с номером  $i$  графа, значения метрик которых попадают в верхний квартиль, присваивается наивысший уровень важности, их ранг равен 3;
  - б) вершинам с номером  $i$  графа, попадающим в интерквартильный диапазон (центральную часть распределения между первым и третьим квартилем) присваивается средний уровень важности, их ранг равен 2;
  - в) вершинам, попавшим в первый квартиль, присваивается низший уровень важности, их ранг равен 1.
3. для метрики центральности  $C_i$  ранговое распределение строится обратным образом:
  - а) наивысший уровень важности с рангом 3 присваивается вершинам, значение метрики которых попадет в нижний квартиль,
  - б) средний уровень с рангом 2 присваивается вершинам со значением метрики в интерквартильном диапазоне;
  - в) низший уровень важности с рангом 1 присваивается узлам со значением метрики в верхнем квартиле.

На основе описанного в пунктах 2 и 3 алгоритма построения ранговых распределений (ранжирования) строится итоговая количественная метрика ранга важности узла (вершины) с номером  $i$  по пяти метрикам центральности графа как

$$rang(i) = rang_{D_i}(i) + rang_{B_i}(i) + rang_{C_i}(i) + rang_{x_i}(i) + rang_{PR(i)}(i)$$

Такие вычисления проводятся для всех вершин графа.

Проводится сортировка по убыванию полученных рангов всех узлов (вершин) графа, диапазоном изменения рангов является промежуток от 5 до 15; это позволяет классифицировать вершины графа по уровню важности для бесперебойного функционирования системы оборота электронных денег.

а) Вершины в верхней части ранжированного перечня важности с высокими значениями метрики ранга важности 15, 14 и 13 оказывают наибольшее влияние на безопасность функционирования всей системы, сбои в этих узлах с высокой вероятностью приведут к нарушению функционирования платежной системы в целом; они определяют «красную зону»

б) Вершины в средней части ранжированного перечня важности с промежуточными значениями метрики ранга 12, 11, 10, 9, 8 попадают по степени влияния на безопасность в «желтую зону»

Вершины с низшими значениями метрики ранга 7, 6 и 5 обладают минимальным влиянием на безопасность функционирования системы, их относим к «зеленой зоне»

Если система моделируется единым графом, то дальнейший вывод об оценке уровня экономической безопасности строится с помощью следующей Матрицы уровней устойчивости (экономической безопасности)

Таблица 1

|                                | Менее 25% вершин в красной зоне | От 25% до 50% вершин в красной зоне | Более 50% вершин в красной з |
|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Менее 50% вершин в желтой зоне | Благоприятный уровень           | Пограничный уровень                 | Недопустимый уровень         |
| Более 50% вершин в желтой зоне | Пограничный уровень             | Недопустимый уровень                |                              |

Если же система моделируется несколькими графами для различных своих фрагментов, тогда для каждого фрагмента подсчитывается число вершин в «красной», «желтой» и «зеленой» зонах. После этого строится усредненная оценка процентных соотношений числа вершин в каждой зоне с весовыми коэффициентами, определяемыми долей количества узлов каждого фрагмента по отношению ко всей системе в целом. Вывод о приемлемости уровня экономической безопасности делается на основе матрицы уровней экономической безопасности

### 3 Основные результаты

Впервые разработана методика построения интегральной оценки устойчивости и экономической безопасности систем электронных платежей. Совокупное применение основных метрик центральности и построение интегральной оценки сети аналогичного типа авторам не известно, так же, как и методики определения критического уровня разрушения на краш-тестах с помощью разработанной матрицы экономической безопасности

### Литература

1. С. Голицын. Использование графовой аналитики и транзакционных данных для обнаружения скрытых зависимостей на примере банковских заемщиков. Выступление на конференции Scoring Days 2018 18 апреля 2018 года. <https://drive.google.com/drive/folders/1RAz3FQx96qkenEnd7ne3GFnlS4mThsgu>, дата обращения 12.05.2018
2. Ю. Жидков, В. Кулик Применение графового анализа в кредитовании МСП. Банковское кредитование. №3, 2018, <http://futurebanking.ru/reglamentbank/article/5085>, дата обращения 26.08.2018
3. Пыркина О.Е. Анализ системы оборота электронных денег с применением графовой аналитики: вопросы экономической безопасности. Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2018): материалы Одиннадцатой международной конференции, 1-3 окт. 2018 г., Москва: в 2-х т. / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук; под общ ред. акад. РАН С. Н. Васильева, д.т.н. А.Д. Цвиркуна. – Т.1: Пленарные доклады, секции 1-7. — М.: ИПУ РАН, 2018, -498с., с. 424-428
4. Басараб М.А., Иванов И.П., Колесников А.В., Матвеев В.А. Обнаружение противоправной деятельности в киберпространстве на основе анализа социальных сетей: алгоритмы, методы и средства (Обзор) Вопросы кибербезопасности №4(17) - 2016, С. 11-19

5. *Caetanoa M.A.L, Yoneyama T.* The effects of node exclusion on the centrality measures in graph models of interacting economic agents. *Physica A* 430 (2015) 216–223.
6. *R. Ali, N. Vause, F. Zikes.* Systemic risk in derivatives markets: a pilot study using CDS data. *Financial Stability Paper No. 38* – July 2016, <https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/financial-stability-paper/2016/systemic-risk-in-derivatives-markets-a-pilot-study-using-cds-data>, дата обращения 05.10.2018