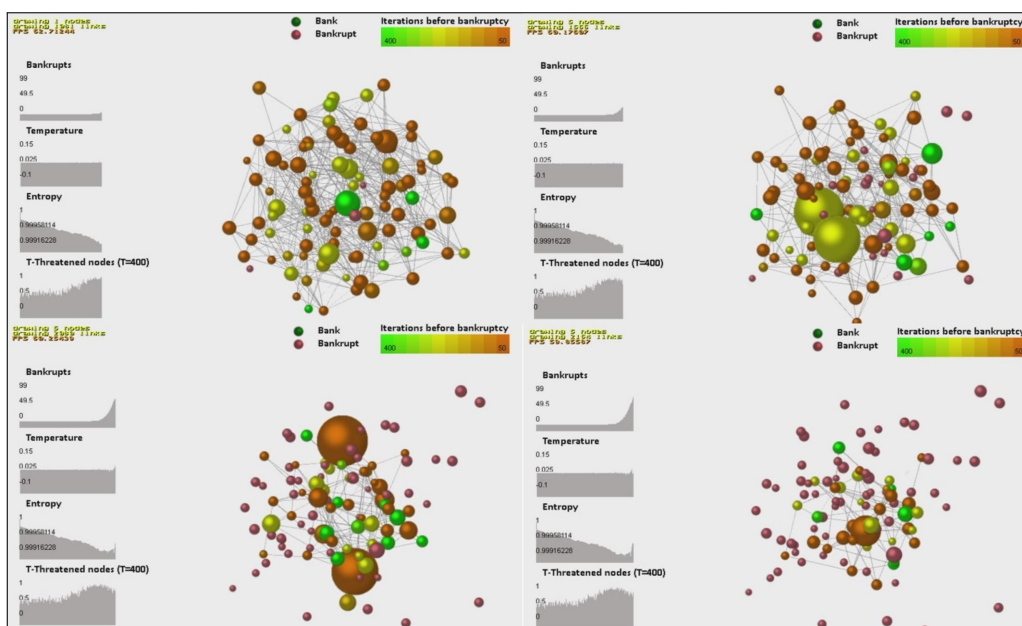


В. Ю. Гулева
К. О. Боченина

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВЫХ СИСТЕМ

Учебно-методическое пособие



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

В. Ю. Гулева
К. О. Боченина

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ФИНАНСОВЫХ СИСТЕМ

Учебно-методическое пособие

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлению подготовки 09.04.02
в качестве учебно-методического пособия
для реализации основных профессиональных образовательных программ
высшего образования магистратуры

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург
2020

Гулева В. Ю., Боченина К. О. Имитационное моделирование финансовых систем: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных и практических работ. – СПб: Университет ИТМО, 2020. – 30 с.

Рецензент: Иванов Сергей Владимирович, к. т. н., старший научный сотрудник НЦКР, доцент ИДУ

Данное пособие предназначено для слушателей курса «Имитационное моделирование финансовых систем» и содержит учебно-методические рекомендации к выполнению лабораторных и практических работ по курсу. Целью курса является освоение математических моделей, методов и программных средств, применяемых в задачах моделирования финансовых систем. В пособии представлены восемь задач, направленных на освоение моделей взаимодействия элементов системы, моделирование динамических процессов, протекающих в системах, исследование влияния отдельных элементов на быстроту протекания процессов, а также рассмотрены прикладные аспекты, ассоциированные с особенностями имитационного моделирования финансовых систем. В частности, рассматриваются особенности работы в условиях неполноты данных в прикладной области, модели взаимодействия финансовых институтов, вытекающие из этого сетевые и динамические свойства системы.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов междисциплинарных программ, изучающих финансовые технологии и имитационное моделирование систем.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009-ом году статус национального исследовательского университета. С 2013-го года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2020

© В. Ю. Гулева, К. О. Боченина, 2020

Содержание

Введение	4
Работа № 1. Генеративные модели графов	6
Работа № 2. Процессы на графах: влияние структуры	8
Работа № 3. Процессы на графах: локальные топологические характеристики значимости вершин	9
Работа № 4. Сетевая модель межбанковской среды	12
Работа № 5. Подготовка финансовых данных	14
Работа № 6. Моделирование структуры межбанковских взаи- модействий по агрегированным данным	16
Работа № 7. Моделирование финансовых институтов и их де- ятельности	18
Работа № 8. Моделирование выбора контрагентов	19
Приложение А.	25
Приложение Б.	27
Приложение В.	28

Введение

Данное пособие предназначено для слушателей курса «Имитационное моделирование финансовых систем», читаемого в университете ИТМО для студентов междисциплинарной программы «Финансовые технологии больших данных».

Курс направлен на освоение основных принципов и методов имитационного моделирования, составных частей имитационных моделей и этапов моделирования, в частности:

- освоение навыка идеализации и обобщения наблюдаемых закономерностей, с целью представления наблюдаемых зависимостей на математическом языке;
- выделение множества параметров, достаточного и избыточного для исследования целевой проблемы;
- работа с научной литературой с целью подбора подходящих методов моделирования;
- проектирование и программная реализация разработанной математической модели и последующая верификация имитационной модели;
- освоение источников данных, а также методов их сбора и обработки;
- освоение методов калибровки моделей;
- а также освоение инструментов исследования полученных зависимостей и вытекающих из этих зависимостей эмерджентных свойств исследуемой системы.

К каждой работе прилагается краткий список литературы по теме для беглого ознакомления. Развёрнутый список литературы приведён в конце сборника и охватывает основные источники и последние достижения мировой науки в рамках затронутых тем.

Содержание отчёта. Отчёт о лабораторной или практической работе включает краткие теоретические сведения, полученные студентом в ходе работы и необходимые для её проведения, со ссылками на источники приводимой информации, детали проведения работы, основные наблюдения и выводы. Текст отчёта приводится кратко, содержательно и аргументировано. Графический материал должен содержать необходимые подписи в соответствии со стандартом ГОСТ 7.32–2001, при этом в тексте отчёта должны содержаться отсылки к рисункам с необходимыми примечаниями, расшифровкой используемых обозначений, описанием наблюдаемых закономерностей и выводами. Выводы, полученные из наблюдений, приведённых в графических материалах, должны быть объяснены на основании используемой в работе теоретической базы. Должны быть приведены и обоснованы потенциальные причины соответствия или расхождения полученных результатов с теорией. Студент должен соблюдать культуру речи и аккуратность оформ-

ления.

Критерии оценивания. Работа отправляется на доработку в случае наличия в ней признаков плагиаризма или машинного перевода, нелогичного или нечитаемого текста, противоречивых утверждений, невнятных графиков без описаний и выводов.

Необходимым условием получения зачёта за работу являются достижение цели работы и выполнение пунктов хода работы с представлением выводов и иных достижений студента, полученных в ходе работы, в форме отчёта, а также устная защита отчёта. Защита всех заданных лабораторных и практических работ является необходимым условием получения зачёта / допуска к экзамену.

Работа № 1. Генеративные модели графов

Цель работы. Целью работы является исследование влияния различных механизмов формирования сети на результирующие сетевые свойства. В частности, исследование влияния параметров генеративной модели на результирующие свойства генерируемых графов.

Оборудование и программное обеспечение. Лабораторная работа выполняется на языке Python с использованием пакета networkx, реализующего исследуемые в работе генеративные модели. Также допускается использование пакетов scipy, numpy, реализующих основные методы линейной алгебры, используемые в спектральной и алгебраической теории графов.

Краткие теоретические сведения. Функциональные свойства систем и их динамика при изменении внешних воздействий на систему часто определяются структурой взаимодействий между её элементами. Математически элементы системы и взаимодействия между ними описываются графом G , вершины V которого соответствуют элементам, а рёбра $E = \{(u, v) | u, v \in V\}$ – взаимосвязям между ними. При этом топологическая и геометрическая структура графа определяется локальной динамикой элементов системы, заключающейся в оптимизации собственного состояния элемента путём добавления и удаления связей с другими элементами. Генеративные модели графов связаны с процессом формирования структуры взаимодействий элементов на основе некоторого заданного алгоритма, элементом которого, в частности, может выступать способ предпочтительного присоединения – локальные шаблоны формирования связей с соседями. Данная работа направлена на исследование влияния параметров генеративных моделей на формируемую результирующую структуру графа.

Пуассоновский граф, связанный с именами *Эрдёша-Реньи* (1959)[15] и *Гильберта* (1959)[19] – случайный ненаправленный граф, элементы матрицы смежности для которого определяются случайно с вероятностью p . При этом распределение степеней вершин результирующего графа определяется распределением Пуассона, т. е. вероятность того, что степень вершины v равна k :

$$P(\deg(v) = k) = \binom{n-1}{k} p^k (1-p)^{n-1-k} \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \frac{(np)^k e^{-np}}{k!}, \quad (1)$$

где n – число вершин графа.

Принцип предпочтительного присоединения – модель присоединения одной вершины к другой, при которой вероятность присоединения пропор-

циональна степени присоединяемой вершины (в отличие от модели Эрдёша-Реньи, где присоединение каждой вершины равновероятно).

Масштабно-инвариантный граф (Барабаши-Альберт, 1999)[8] – случайный граф, построенный с использованием принципа предпочтительного присоединения и роста сети.

$$P(\deg(v) = k) \sim k^{-3} \quad (2)$$

Для моделирования сетей с особыми свойствами диаметра, кластеризации (в социологии «транзитивность») и распределения степеней вершин применяются также модели Ваттса-Строгатса [27], экспоненциальная случайная модель (ERGM) [26] и другие. Локальные шаблоны присоединения по принципу похожести ассоциированы со свойствами ассортативного и дизассортативного смешивания, влияющего также на результирующий закон распределения степеней вершин.

Инвариантом графа $\phi : \mathbb{G} \rightarrow \mathbb{R}$ называют инъективное отображение, заданное на множестве возможных графов и ставящее в соответствие каждому графу некоторое вещественнозначное число или их упорядоченную последовательность. При этом свойствами графа $\{\phi_i(G)\}$ называют значения его инвариантов. Одному и тому же свойству могут соответствовать несколько графов различной структуры. Полным инвариантом называют биективное отображение между множеством графов и чисел, с точностью до перестановки вершин.

Среди наиболее частых характеристик графов встречаются следующие инварианты: распределение степеней вершин, глобальный коэффициент кластеризации, средняя длина пути, диаметр и другие [4].

Ход работы.

1. Выбрать генеративную модель, свойство, которое она воспроизводит, и параметр модели, обуславливающий вариацию свойства.
2. Сгенерировать 20 экземпляров графов (размером не менее 100 вершин) при помощи выбранной модели при вариации выбранного параметра с равными интервалами изменения (например, если параметр лежит в $[0; 1]$, то изменять его с шагом 0,05)
3. Для сгенерированных графов $G(p_i)$ (где p_i – варьируемый параметр) измерить целевые свойства $\phi(G(p_i))$ и результат отобразить на графике в виде $\phi(p_i)$.
4. Для каждого значения параметра p_i сгенерировать по 10 графов и нарисовать график вида $f(p_i)$, где $f = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} \phi(G_j(p_i))$, а $G_j(p_i)$ – j -ый запуск генерации графа с параметром p_i .
5. Сравнить полученные графики.

Содержание отчёта. В отчёте должны быть отражены выбранные методы генерации графов и параметры эксперимента, число запусков для усреднения результатов и иные условия проведения экспериментов, оказывающие влияние на результат. Для выбранных методов указывать также реализацию, поскольку она может влиять на результат.

Литература.

1. Jackson MO, Wolinsky A (1996) A strategic model of economic and social networks // JEcon Theory. Т. 71. – Сс. 44–74.
2. Bala V, Goyal S (2000) A non-cooperative model of network formation // Econometrica. – Т. 68. – Сс. 1181–1231.
3. Cartwright D, Harary F (1956) Structural balance: A generalization of Heider's theory // Psychol Rev. – Т. 63. – Сс. 277–292.

Работа № 2. Процессы на графах: влияние структуры

Цель работы. Исследовать влияние структуры графа на динамику течения процессов в нём.

Оборудование и программное обеспечение. ndlib (network diffusion library) содержит реализацию моделей диффузии на графах на языке Python.¹

Краткие теоретические сведения. Исследование влияния топологии связей элементов системы на динамику течения процессов в ней, применительно к области экономики, было особенно спровоцировано мировым финансовым кризисом 2008-го года. Работы по исследованию данной тематики, однако, велись и раньше, как в среде экономистов (Аллен и Гейл, 2000) [6], так и задолго до них в эпидемиологии (Кермак и Мак Кендрик, 1929). Одной из наиболее классических теоретических работ, описывающих динамику процессов в произвольной системе, является модель «хищник-жертва». А проблема вычисления точной теоретической оценки для системы с произвольной топологией взаимодействий пока остаётся открытой. Многие исследования, однако, направлены на сравнение скоростей течения процессов в эмпирических сетях с различными свойствами и на изучение поведения отдельных моделей при вариации их параметров. В частности, известно, что быстрота распространения процессов связана со средней длиной пути, эффективностью Латора [24], модулярностью и постоянной Чигера [13], связанной с понятиями алгебраической связности и спектрального зазора матрицы Кихргофа. Очевидно, также, что при распространении информации от одного источника будут

¹<https://ndlib.readthedocs.io/en/latest/reference/models/dynamics/dSIS.html?highlight=sis>

играть роль его локальные топологические характеристики и топологические характеристики его соседей. Также известны аналитически подтверждённые связи вышеуказанных метрик с другими [30], что может позволить в некоторых случаях избежать прямого моделирования процессов и ограничиться вычислением наиболее простых вычислительно свойств графа.

Каскадом дефолтов (применительно к банковским системам) или лавиной или домино-эффектом называют в прикладных исследованиях распространяемый по сети процесс, в течение которого шокирующее воздействие, приложенное к заданной вершине, распространяется к соседям и далее.

Пример моделирования динамических процессов на графах приведён в приложении А.

Ход работы.

1. Выбрать генеративную модель графа (или несколько моделей) так, чтобы плотность у рассматриваемых графов не менялась, а структура варьировалась некоторым параметром. (Например, рассмотрим модель Ваттса-Строгатса и будем варьировать параметр, осуществляющий переход между регулярной и случайной структурой.)
2. Взять простейшую модель распространения процессов на графах (например, SI – susceptible-infected).
3. На каждой итерации моделирования распространения процесса записывать число элементов в каждом состоянии.
4. Провести данный эксперимент на графах нескольких топологий (например, два предельных случая параметров модели Ваттса-Строгатса и два промежуточных); сравнить результат с теоретическими кривыми динамики для случайных графов с той же плотностью.

Литература.

1. Kermack WO, McKendrick AG (August 1, 1927). “A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics”. *Proceedings of the Royal Society A*. 115 (772): 700–721. doi:10.1098/rspa.1927.0118

Работа № 3. Процессы на графах: локальные топологические характеристики значимости вершин

Цель работы. Исследовать центральности вершин как характеристики их значимости при моделировании динамических процессов на графах.

Оборудование и программное обеспечение. `ndlib` (network diffusion library) содержит реализацию моделей диффузии на графах на языке Python.² Реализации центральных свойств содержатся в пакете для анализа и обработки графов `networkx`.³

Краткие теоретические сведения. Каскадом дефолтов или лавиной или домино-эффектом называют в прикладных исследованиях распространяемый по сети процесс, в течение которого шокирующее воздействие, приложенное к заданной вершине, распространяется к соседям и далее [18]. Локальные топологические характеристики ассоциированы с индивидуальным уровнем модели и отражают локальную плотность, кластеризацию и степень вершины, соответствующие в социально-экономических системах транзитивности отношений и «общительности» в сети. Говоря о характеристиках значимости отдельных вершин, в частности, об их роли при распространении процессов по системе, в первых рядах фигурируют меры центральности.

Степень связности (degree centrality, центральность по степени) аналогична степени вершины v , однако учитывает относительность этого свойства к размеру сети N и вычисляется по формуле

$$C_d(v) = \frac{\text{deg}(v)}{N - 1} \quad (3)$$

Степень посредничества (betweenness centrality) пропорциональна числу кратчайших путей $\sigma_{st}(v)$, проходящих через рассматриваемую вершину v .

$$C_b(v) = \frac{\sum_{s \neq v \neq t} \sigma_{st}(v)}{(N - 2)(N - 1)} \quad (4)$$

Степень близости (closeness centrality) отражает удалённость рассматриваемой вершины от остальных и определяется как обратная величина удалённости (Бавелас, 1950):

$$C_c(v) = \frac{N - 1}{\sum_y d(y, v)}, \quad (5)$$

где $d(x, y)$ определяет кратчайший путь на графе между вершинами x и y . В то же время гармоническая центральность имеет вид

$$H(x) = \sum_{y \neq x} \frac{1}{d(y, x)}, \quad (6)$$

и встречается в литературе как «эффективность Латоры» [24] в контексте эффективности распространения информации по сети.

²<https://ndlib.readthedocs.io/en/latest/reference/models/dynamics/dSIS.html?highlight=sis>

³<https://networkx.github.io/documentation/stable/reference/algorithms/centrality.html>

Степень влиятельности (eigenvector centrality) будет высокой в случае, если узел связан со многими узлами, имеющими высокие степени влиятельности. Пусть $A = \{a_{vt}\}$ – матрица смежности графа G . Тогда центральность вершины v определяется как сумма центральностей её соседей $\mathcal{N}(v)$:

$$C_e(v) = \frac{1}{\lambda} \sum_{u \in \mathcal{N}(v)} C_e(u) = \frac{1}{\lambda} \sum_{u \in V(G)} a_{uv} C_e(u) \quad (7)$$

для случая ненаправленного графа с симметричной матрицей смежности. Тогда вектор искомых центральностей будет соответствовать собственному вектору матрицы смежности:

$$Ax = \lambda x \quad (8)$$

Ввиду определённости собственного вектора с точностью до константы таким образом может быть вычислено лишь отношение центральностей вершин.

Центральность, учитывающая изменения состояний вершин в ходе течения процесса, была предложена Пиравийнан и др. (2013) и известна как центральность просачивания (percolation centrality).

Ход работы.

1. Зафиксировать генеративную модель графа и модель каскада.
2. Выбрать 2 характеристики центральности.
3. Отсортировать вершины графа по величинам выбранных центральностей.
4. Смоделировать направленный шок по вершинам с разными характеристиками (выбрать по несколько вершин с минимальным, средним и максимальным значениями).
5. Оценить быстроту/полноту инфицирования при выборе разных вершин.
6. Для сравнения мер центральностей отсортировать вершины по итоговой скорости полного инфицирования сети и построить соответствующие последовательности центральностей; установить наличие зависимостей.

Литература.

1. Alex Bavelas. Communication patterns in task-oriented groups // J. Acoust. Soc. Am. — 1950. — Т. 22, вып. 6.
2. Sabidussi G. The centrality index of a graph // Psychometrika. — 1966. — Т. 31, вып. 4. — DOI:10.1007/bf02289527. — PMID 5232444

3. Christian F. A. Negre, Uriel N. Morzan, Heidi P. Hendrickson, Rhitankar Pal, George P. Lisi, J. Patrick Loria, Ivan Rivalta, Junming Ho, Victor S. Batista. Eigenvector centrality for characterization of protein allosteric pathways // Proceedings of the National Academy of Sciences. — 2018. — Т. 115, № 52. — DOI:10.1073/pnas.1810452115
4. Piraveenan M., Prokopenko M., Hossain L. Percolation Centrality: Quantifying Graph-Theoretic Impact of Nodes during Percolation in Networks // PLOS ONE. — 2013. — Т. 8, вып. 1. — DOI:10.1371/journal.pone.0053095. — Bibcode: 2013PLoS...853095P. — PMID 23349699

Работа № 4. Сетевая модель межбанковской среды

Цель работы. Освоение программного средства анализа и визуализации сетей Gephi.

Оборудование и программное обеспечение. Свободно распространяемое кроссплатформенное ПО Gephi.⁴

Краткие теоретические сведения. Взаимосвязи между элементами систем, в частности, финансовых/экономических/банковских объектов, представляются графически в форме сетей. Тогда на языке теории графов элементам рассматриваемой системы ставятся в соответствие вершины графа, в то время как факт наличия некоторой связи между ними обозначается ребром. Так, в сети межбанковского кредитования вершинам соответствуют банки, а рёбрам – межбанковские кредиты. При этом граф может быть направленным, если значение имеет не только факт наличия связи, но также роли элементов системы в этом отношении. Наиболее частыми характеристиками таких сетей выступают диаметр или средний путь (максимальное или среднее расстояние между элементами такой сети), распределение степеней вершин (число рёбер, смежное с одной вершиной), коэффициент кластеризации (вероятность двух вершин быть связанной при наличии общего соседа), корреляция по степени вершины и иным свойствам вершин. [22, 11]

Ход работы.

1. Выбрать произвольный открытый набор данных о взаимосвязях между элементами сети.⁵

⁴<https://gephi.org/>

⁵Предлагается к анализу сеть взаимодействия шотландских фирм 1904–1905-х годов: <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/data/esna/scotland.htm>

2. Подготовить набор для загрузки в Gephi. (Допустимые форматы представлены в документации).
3. Открыть файл с данными в Gephi.
4. Вычислить при помощи панели справа распределение степеней вершин, центральности, средний путь, коэффициент кластеризации и модулярность. – Сделать выводы о структуре сети.
5. Выбрать на панели слева подходящую раскладку.
6. Далее визуально подчеркнуть особенности сети (выбрать свойства по желанию): раскрасить модули в соответствии с их плотностью, выделить более центральные узлы (мера центральности на выбор) и т. п. В качестве средств выразительности можно и нужно использовать размеры вершин, толщину рёбер, различные цвета и обводку.
7. Привести выводы о сетевой структуре по итогам визуального анализа. Сравнить с выводами по результатам вычислений.

Вопросы для самоконтроля.

1. В чём состоит практическая разница между взвешенной и невзвешенной степенью вершины?
2. Какие способы вычисления коэффициентов кластеризации вам известны?
3. В чём коварство модулярности?
4. Приведите примеры использования различных мер центральности, обоснуйте целесообразность их использования.
5. Дайте определения радиусу, диаметру, среднему пути графа и эксцентриситету.

Литература.

1. Документация Gephi (<https://gephi.org/users/>).
2. Наборы открытых данных по сетям.

Работа № 5. Подготовка финансовых данных

Цель работы. Ознакомление с источниками открытых данных в сфере финансов; выработка практических навыков выгрузки и предобработки данных для проведения дальнейших исследований.

Оборудование и программное обеспечение. Специальных требований к программному обеспечению нет.

Краткие теоретические сведения. Источники данных:

- ▶ banki.ru – информация по российским финансовым институтам: балансовые показатели, показатели надёжности, рейтинги.
- ▶ [bankscore](http://bankscore.ru) – агрегатор отчётности и рейтингов по мировым финансовым институтам: то же, что в предыдущем источнике; дополнено средствами анализа и визуализации; коммерческий ресурс, существует возможность организации пробного периода для университетов.
- ▶ Росстат (<http://www.gks.ru/>) – федеральная служба государственной статистики – население, занятость, предпринимательство, внешняя торговля, эффективность экономики, финансы, технологии, наука, международная статистика и др.
- ▶ The Division of Economic and Risk Analysis (U.S.) – <https://www.sec.gov/dera/data> – финансовые данные, добровольно предоставляемые отдельными физическими лицами для исследования и анализа. Целостность и точность информации в предоставляемых наборах данных не гарантируется.
- ▶ Oxford Economics (<https://www.oxfordeconomics.com/data-sets>) – биржи, индустрия, города и регионы, расходы европейских потребителей, ВВП, занятость, торговля и проч. в Африке, ближневосточных городах и Азии.
- ▶ Bureau of Economic Analysis (<https://www.bea.gov/>) – ВВП, доходы, биржа, транзакции
- ▶ United States Census Data (<https://www.springboard.com/blog/free-public-data-sets-data-science-project/>) – переписки, криминал, причины смерти, лечебные данные, рак, трудоустройство, экономика
- ▶ IMF Economic Data (<http://data.imf.org/?sk=388DFA60-1D26-4ADE-B505-A05A558D9A42&sid=1479329328660>) – макроэкономика и финансы; по географическим регионам и категориям.

Данные на `banki.ru` имеют вид csv-таблиц и загружаются файлами при переходе по ссылке. Таким образом, для сбора необходимо перейти необходимое число раз по ссылкам нужной адресации, изменяя адрес в зависимости от категории интересующих данных и временного интервала. Например, в командной строке `linux` для этого достаточно вызвать команду «`curl -o $file_path $url_whole`» (см. пример исходных текстов в приложении Б).

Балансовые данные банков подразделяются на следующие основные категории, интересные при моделировании сетей МБК: размещённые и привлечённые МБК, а также внешние активы и обязательства. Размещённые и привлечённые МБК включают также средства, относящиеся к Центральному банку страны (ЦБ РФ), а также информацию об оборотах. Внешние активы и обязательства включают средства предприятий и физических лиц, а также категории, относящиеся к ценным бумагам и иным финансовым инструментам. Взаимосвязь категорий определяется методикой расчёта рейтинга, представленной на странице с данными за период.⁶ На основании этой документации строится структура баланса, выгружаемая из отчётности со ссылками на номера категорий (приложение В).

Ход работы. Порядок агрегации данных, необходимый для решения задачи реконструкции сети.

1. Собрать файлы с балансовыми данными за выбранный промежуток времени категорий 600, 610, 620 621, 630, 120, 121.
2. Привести формулу расчёта межбанковских активов и обязательств из имеющихся данных (то есть величины, соответствующие сумме строк и столбцов матрицы смежности требуемого к построению графа).
3. Запрограммировать парсер файлов для выделения требуемых данных для каждого банка.
4. Вывести результат в файл (в отчёте отразить пример первых нескольких строк).

Литература.

1. Методики расчёта рейтингов: <https://www.banki.ru/banks/ratings/>

⁶https://www.banki.ru/upload/smth/banki_ratings_methodology.doc

Работа № 6. Моделирование структуры межбанковских взаимодействий по агрегированным данным

Цель работы. Построение сети МБК (межбанковского кредитования) на основе агрегированных данных о межбанковских активах и обязательствах и данных о топологических свойствах.

Оборудование и программное обеспечение. Специальные требования отсутствуют. Агрегированные данные рекомендуется брать из публикации Леонидова и Румянцева (2013) и с интернет-ресурса `banki.ru`.

Краткие теоретические сведения. Проблема неполноты данных и их непубличности возникает ввиду этических и юридических вопросов и может препятствовать проведению ряда исследований и валидации полученных моделей, в частности, таковой является задача моделирования структуры сети МБК (межбанковского кредитования). Необходимость построения сетевой структуры возникает при моделировании каскадов дефолтов [21, 29] и оценок «устойчивости» системы к шокирующим внешним воздействиям [20]. Ввиду этого на основании известных агрегированных данных о межбанковских активах и обязательствах каждого банка (которые являются публикуемыми и доступны в отчётной документации и агрегируются на сайте `banki.ru`) строится синтетическая сеть взаимодействий, удовлетворяющая заданным ограничениям. Дополнительные ограничения и требования к свойствам сети выбираются на основании требований к задаче. Например, при моделировании распространения процессов / финансовых шоков решающую роль играет то, насколько реалистично они будут протекать. На быстроту протекания процессов влияют такие топологические свойства, как средняя длина пути [17], алгебраическая связность [25], модулярность [14], эффективность Латора [24]. При этом, если для моделируемой сети известны эти свойства или иные связанные с ними величины, представляется целесообразным строить синтетические сети, удовлетворяющие также и этим известным свойствам.

Математически задача реконструкции сетевой структуры является экстремальной задачей с линейными ограничениями [2] и может успешно решаться посредством методов стохастической оптимизации [5]. Пусть $A = \{a_{ij}\}$ – матрица смежности графа, описывающего межбанковские кредиты a_{ij} . Тогда межбанковские активы, публично доступные из отчётности, определяются как $\mathfrak{A}_i = \sum_j a_{ij}$, а обязательства – $\mathfrak{L}_i = \sum_j a_{ji}$. При этом задание дополнительных ограничений свойствам результирующих графов соответствует уравнению $f_k(G(A)) = p_k$, где f_k – инвариант графа, а p_k – соответствующее свойство графа G , соответствующего матрице смежности A . То-

гда необходимо найти такую матрицу A , что $\sum_i [\mathfrak{A}_i - \sum_j a_{ij} + \mathfrak{L}_i - \sum_j a_{ji}] + \sum_k [f_k(G(A)) - p_k] \rightarrow \min$.

Проблема реконструкции сетей близка к задачам генерации графов, однако, если генеративные модели направлены на воспроизведение ограниченного числа свойств, зависят от незначительного числа параметров и являются интерпретируемыми, методы реконструкции возникают из неполноты информации, могут принимать на вход довольно большое число ограничений и сводятся к задачам стохастической оптимизации. Таким образом, реконструкция сетей сводится к восполнению пробелов информации, согласованных с имеющимися данными, в то время как продукт генеративных моделей соответствует гораздо более широкому классу графов. Среди наиболее популярных методов реконструкции сетей выделяют энтропийные методы с использованием подходов Гиббса и энтропии Шеннона [7], экспоненциальные случайные графы [16, 23],⁷⁸ задающие ансамбль наиболее вероятных графов путём нахождения корней производной лагранжиана по их вероятности.

Аналитический обзор большинства существующих подходов и современных методов реконструкции весьма полно описан Тициано Скуартини и соавторами (2018) [12].

Ход работы.

1. Выбрать моделируемую сеть, а также временной интервал моделирования.
2. Рассмотреть агрегированные данные о межбанковских кредитах для рассматриваемого момента времени.
3. Подобрать эмпирическое исследование, соответствующее выбранной межбанковской сети и временному интервалу моделирования.
4. По собранным данным выписать перечень моделируемых свойств и суммарных активов и обязательств в терминах матрицы смежности. Выписать постановку задачи.
5. Выбрать метод реконструкции.
6. Реконструировать и визуализировать полученную сеть.
7. Провести анализ моделируемых и произвольных других топологических свойства; вывести полученные отклонения для моделируемых топологических свойств и агрегированных значений МБК.

Вопросы для самоконтроля.

1. Проанализируйте достоинства и недостатки выбранного метода реконструкции.

⁷<http://www.uvm.edu/pdodds/files/papers/others/everything/frank1986a.pdf>

⁸<http://www.uvm.edu/pdodds/files/papers/others/1981/holland1981.pdf>

2. В чём состоят преимущества и недостатки стохастических методов оптимизации применительно к задачам восстановления данных?
3. Какие методы реконструкции являются наиболее вычислительно эффективными и почему? Каковы их слабые стороны?

Литература.

1. Anand K., Craig B., Von Peter G. Filling in the blanks: Network structure and interbank contagion //Quantitative Finance. – 2015. – Т. 15. – №. 4. – С. 625-636.
2. Леонидов А. В., Румянцев Е. Л. Оценка системных рисков межбанковского рынка России на основе сетевой топологии //Журнал Новой экономической ассоциации. – 2013. – Т. 3. – №. 19. – С. 65-80.
3. Каширин В. Эвристические алгоритмы моделирования и оптимизации структуры неоднородных комплексных сетей [Heuristic algorithms for modeling and optimization of complex heterogeneous networks structure]. PhD thesis, ITMO University, St. Petersburg, Russia, 12 2013. In Russian.
4. Victor V Kashirin. Evolutionary simulation of complex networks structures with specific topological properties. Procedia Computer Science, 29:2401–2411, 2014.
5. Squartini T. et al. Reconstruction methods for networks: the case of economic and financial systems //Physics reports. – 2018. – Т. 757. – С. 1-47.

Работа № 7. Моделирование финансовых институтов и их деятельности

Цель работы. Выработка навыка работы с научной литературой, моделирования финансовых институтов и их деятельности. Формализация математических моделей банков и взаимодействий между ними.

Оборудование и программное обеспечение. Не требуется.

Краткие теоретические сведения. При разработке математических и имитационных моделей особое внимание следует уделять подбору параметров и причинно-следственных связей, учёт которых необходим при моделировании. В первую очередь должен быть поставлен исследовательский вопрос о том, что планируется изучать и ради чего разрабатывается модель. Ответ на поставленный вопрос должен быть ёмким и конкретным, и отразиться в математической постановке задачи. Далее определяются элементы, свойства и цели системы, ассоциированной с поставленной проблемой; осуществляется подбор параметров модели, ассоциированных с предметом исследования, а

также смежные законы функционирования, влияющие на изменения выбранных параметров и зависящие от них. Увеличение числа параметров позволяет сделать модель более точной и близкой к реальности, однако ухудшает её интерпретируемость. Как следствие, при необходимости проверки гипотез о наблюдаемых в реальности закономерностях следует обходиться моделями с незначительным числом параметров (не более 4–5, лучше 3). Таким образом, математическая модель строится на основе идеализаций и упрощений, с учётом гипотез, наблюдаемых эмпирических закономерностей и подтверждённых законов.

При обращении к существующим математическим теориям и моделям необходимо опираться на аксиоматику, лежащую в их основе и обеспечивающую их корректность, а также на принципы формальной математической логики [3, 1]. Используемый математический язык должен соответствовать общепринятым обозначениям и нормам.

Ход работы.

1. Рассмотреть статью Берарди-Тедешчи «From banks' strategies to financial (in)stability» [10].
2. Выделить основные составляющие параметры, характеризующие финансовые институты и влияющие на принятие решений.
3. Выписать законы взаимодействия между агентами.
4. Представить схему взаимного влияния параметров.
5. Предложить дифференциальную модель изменения значений параметров при заданных законах взаимодействий.

Литература.

1. Berardi S., Tedeschi G. From banks' strategies to financial (in) stability //International Review of Economics & Finance. – 2017. – Т. 47. – С. 255-272.
2. Мышкис А. Д. Элементы теории математических моделей. Изд. 3-е, исправленное //М.: КомКнига. – 2007. Url: <http://bourabai.ru/library/Myshkis.pdf>

Работа № 8. Моделирование выбора контрагентов

Цель работы. Исследование влияния стратегий выбора контрагента на динамику эволюции банковской сети. Выработка навыка работы с математическими моделями и реализации имитационных моделей.

Оборудование и программное обеспечение. Произвольный компилятор или интерпретатор; произвольная среда разработки программного обеспечения.

Краткие теоретические сведения. Системные свойства часто оказываются под влиянием структуры взаимодействий между её элементами. При этом динамика формирования связей обусловлена локальной динамикой агента, зависящей от их стратегий, определяемых свойствами агентов (текущим состоянием), целевой функцией (иными словами, функции полезности) и, в частности, моделью выбора контрагентов. Важным аспектом моделей предпочтения является определение функции привлекательности контрагентов от их текущего состояния.

Очевидным примером моделирования выбора является предпочтительное присоединение в генеративной модели графов Барабаши-Альберт [9]. При этом привлекательность контрагента v определяется его степенью k_v :

$$\phi(v) = k_v, \quad (9)$$

и определяет вероятность присоединения к рассматриваемой вершине v при заданных свойствах остальных вершин графа:

$$P(v) = \frac{\phi(v)}{\sum_{i \in V} \phi(i)}. \quad (10)$$

При этом модификация функции привлекательности приведёт к изменению свойств результирующего графа. Моделирование предпочтения, зависящего от состояния агента, вовлекает дополнительную переменную его состояния в функцию привлекательности, например так:

$$\phi(u, v) = |k_u - k_v|. \quad (11)$$

Переключение приоритета между функциями предпочтения для разных агентов обеспечивается введением дополнительного параметра, в частности, для вовлечения предпочтения по схожести (формула 11) и по популярности (формула 9) вводится параметр ϵ и общая функция привлекательности:

$$\phi(u, v) = \phi_{pop}(v) \cdot \epsilon + (1 - \epsilon) \cdot \phi_{sim}(u, v) \quad (12)$$

Такой подход нашёл применение в моделях генерации гиперболических графов применительно к сетям социальных контактов [28], а также при моделировании финансовых сетей [10].

Формально функции предпочтений должны соотноситься с целевыми функциями агентов.

Ход работы.

1. Рассмотреть статью Берарди-Тедеша «From banks' strategies to financial

(in)stability» [10].

2. Выписать функцию предпочтения при выборе контрагента.
3. Выписать функцию привлекательности агента.
4. Выписать минимальную модель агента, обеспечивающую реализации функций из предыдущих пунктов.
5. Реализовать на произвольном языке агента и функции предпочтений.
6. Проанализировать динамику изменения топологии формируемой сети и её результирующие свойства.

Литература.

1. Berardi S., Tedeschi G. From banks' strategies to financial (in) stability //International Review of Economics & Finance. – 2017. – Т. 47. – С. 255-272.

Список литературы

- [1] Андрей Николаевич Колмогоров and Альберт Григорьевич Драгалин. *Введение в математическую логику*. Изд-во Московского университета, 1982.
- [2] Марк Константинович Гавурин and Василий Николаевич Малозёмов. *Экстремальные задачи с линейными ограничениями: учебное пособие*. Изд-во Ленинградского университета, 1984.
- [3] Василий Ильич Нечаев. *Числовые системы: Учеб. пособие*. Просвещение, 1975.
- [4] Александр Александрович Зыков. *Основы теории графов*. "Наука Главная редакция физико-математической литературы, 1987.
- [5] Олег Николаевич Граничин. *Введение в методы стохастической оптимизации и оценивания*. 2003.
- [6] Franklin Allen and Douglas Gale. Financial contagion. *Journal of political economy*, 108(1):1–33, 2000.
- [7] Kartik Anand, Ben Craig, and Goetz Von Peter. Filling in the blanks: Network structure and interbank contagion. *Quantitative Finance*, 15(4):625–636, 2015.
- [8] Albert-László Barabási and Réka Albert. Emergence of scaling in random networks. *science*, 286(5439):509–512, 1999.
- [9] Albert-László Barabási and Réka Albert. Emergence of scaling in random networks. *science*, 286(5439):509–512, 1999.
- [10] Simone Berardi and Gabriele Tedeschi. From banks' strategies to financial (in) stability. *International Review of Economics & Finance*, 47:255–272, 2017.
- [11] Michael Boss, Helmut Elsinger, Martin Summer, and Stefan Thurner. Network topology of the interbank market. *Quantitative Finance*, 4(6):677–684, 2004.
- [12] Guido Caldarelli, Alessandro Chessa, Fabio Pammolli, Andrea Gabrielli, and Michelangelo Puliga. Reconstructing a credit network. *Nature Physics*, 9(3):125–126, 2013.
- [13] Fan Chung. Laplacians and the cheeger inequality for directed graphs. *Annals of Combinatorics*, 9(1):1–19, 2005.

-
- [14] Kihong Chung, Yongjoo Baek, Daniel Kim, Meesoon Ha, and Hawoong Jeong. Generalized epidemic process on modular networks. *Physical Review E*, 89(5):052811, 2014.
- [15] Paul Erdos and Alfred Renyi. On random graphs. In *On random graphs*, volume 6, pages 290–297. Publicationrs Mathematicae, 1959.
- [16] Ove Frank and David Strauss. Markov graphs. *Journal of the american Statistical association*, 81(395):832–842, 1986.
- [17] Prasanna Gai and Sujit Kapadia. Contagion in financial networks. *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 466(2120):2401–2423, 2010.
- [18] Domenico Delli Gatti, Mauro Gallegati, Bruce C Greenwald, Alberto Russo, and Joseph E Stiglitz. Business fluctuations and bankruptcy avalanches in an evolving network economy. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 4(2):195, 2009.
- [19] Edgar N Gilbert. Random graphs. *The Annals of Mathematical Statistics*, 30(4):1141–1144, 1959.
- [20] Agam Gupta, Molly M King, James Magdanz, Regina Martinez, Matteo Smerlak, and Brady Stoll. Critical connectivity in banking networks. *SFI CSSS. SFI CSSS report*, 2013.
- [21] Grzegorz Hałaj and Christoffer Kok. Assessing interbank contagion using simulated networks. *Computational Management Science*, 10(2-3):157–186, 2013.
- [22] Andrew G Haldane et al. Rethinking the financial network. *Speech delivered at the Financial Student Association, Amsterdam, April*, pages 1–26, 2009.
- [23] Paul W Holland and Samuel Leinhardt. An exponential family of probability distributions for directed graphs. *Journal of the american Statistical association*, 76(373):33–50, 1981.
- [24] Vito Latora and Massimo Marchiori. Efficient behavior of small-world networks. *Physical review letters*, 87(19):198701, 2001.
- [25] J Martín-Hernández, H Wang, P Van Mieghem, and G D’Agostino. Algebraic connectivity of interdependent networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 404:92–105, 2014.
- [26] Nicolò Musmeci, Stefano Battiston, Guido Caldarelli, Michelangelo Puliga, and Andrea Gabrielli. Bootstrapping topological properties and systemic risk

- of complex networks using the fitness model. *Journal of Statistical Physics*, 151(3):720–734, 2013.
- [27] Mark EJ Newman and Duncan J Watts. Scaling and percolation in the small-world network model. *Physical Review E*, 60(6):7332, 1999.
- [28] Fragkiskos Papadopoulos, Maksim Kitsak, M Ángeles Serrano, Marián Boguná, and Dmitri Krioukov. Popularity versus similarity in growing networks. *Nature*, 489(7417):537, 2012.
- [29] Tarik Roukny, Hugues Bersini, Hugues Pirotte, Guido Caldarelli, and Stefano Battiston. Default cascades in complex networks: Topology and systemic risk. *Scientific reports*, 3, 2013.
- [30] Alexander Strang, Oliver Haynes, Nathan D Cahill, and Darren A Narayan. Generalized relationships between characteristic path length, efficiency, clustering coefficients, and density. *Social Network Analysis and Mining*, 8(1):14, 2018.


```

43     for n in nodes_to_infect:
44         G.nodes[n]['state'] = 1
45     sys.stdout.write('%s%s' % ('Slicing', os.linesep))
46     sliced = nxmetis.partition(G, nparts=size-1)
47     sliced = sliced[1]
48     sys.stdout.write('%s%s' % ('Network is sliced', os.
49         linesep))
50     for i in range(1, size):
51         subnetworks[i] = sliced[i-1] # list of nodes
52         for j in subnetworks[i]:
53             map_nodes[j] = i
54             comm.send(subnetworks[i], dest=i, tag=1)
55             # map_nodes - get rank by node
56             comm.send([x for x in list(set(nodes_to_infect)&
57                 set(subnetworks[i])) if map_nodes[x] == i],
58                 dest=i, tag=2)
59             comm.send(iters, dest=i, tag=3)
60     sys.stdout.write('%s%s' % ('initialisation complete',
61         os.linesep))
62
63     else:
64         iters += 1
65         result = []
66         send_infected = {}
67         while len(result) < size-1:
68             for i in list(set([x for x in range(1, size)] -
69                 set(result))):
70                 slave = comm.recv(source=i, tag=10)
71                 if slave[0] not in result:
72                     result.append(slave[0])
73                     for n in slave[1]:
74                         G.nodes[n]['state'] = 1
75                     for n in slave[2]:
76                         send_infected.setdefault(map_nodes[n], []).append(n)
77
78     for i in range(1, size):
79         if i in send_infected.keys():
80             comm.send(send_infected[i], dest=i, tag=2)
81         else: comm.send([], dest=i, tag=2)
82         comm.send(iters, dest=i, tag=3)
83
84     sys.stdout.write('%s%s'%(str(iters)+' : '+str(len([x
85         for x in G.nodes if G.nodes[x]['state']==1]))+' of
86         '+str(len(G.nodes)), os.linesep))
87     print(time.time() - t)
88 else:
89     if rank == 1:
90         time.sleep(2)
91     while True:

```

```

87     iters = comm.recv(source=MASTER, tag=3)
88
89
90     if initial:
91         initial = False
92         subnet = comm.recv(source=MASTER, tag=1)
93         infected = [x for x in subnet if G.nodes[x]['state']
94                     == 1]
95
96         now_infected = infect(infected, G)
97         infected.extend(now_infected)
98     else:
99         external_infected = comm.recv(source=MASTER, tag=2)
100        for n in external_infected:
101            G.nodes[n]['state'] = 1
102            infected.extend(external_infected)
103            now_infected = infect(infected, G)
104            infected.extend(now_infected)
105
106        comm.send([rank, now_infected, list(set(now_infected)-set
107                (subnet))], dest=MASTER, tag=10)
108    if iters == N:
109        break

```

Приложение Б.

Пример исходных текстов кода на bash для сбора данных.

```

1  #!/bin/bash
2
3  property_set=(10 30 25 20 40 50 60 70 1000 1100 1200 1300 1400
4     1500 1550 1600 1700 1800 100 110 111 112 113 200 210 220 230
5     240 250 260 120 121 1210 122 300 310 320 330 340 350 360 130
6     140 190 150 160 170 180 400 401 410 411 420 421 430 431 440
7     441 450 451 460 461 500 501 510 511 520 521 530 531 540 541
8     550 551 560 561 600 610 620 621 700 710 720 850 1900 800 900)
9  date1_m=(02 04 06 08 10 12)
10 date1_y=(2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016)
11
12 for property_ID in ${property_set[*]}
13 do
14     for m in ${date1_m[*]}
15     do
16         for y in ${date1_y[*]}
17         do
18
19             # property_ID=25
20             # y=2017

```

```

16 # m=04
17 file_path="data_"$property_ID"_"$y"_"$m".csv"
18 url_beg="http://www.banki.ru/banks/ratings/export.php?
SEARCH_NAME=&SEARCH_REGN=&search\[type\]=name&sort_param=
rating&sort_order=ASC&PROPERTY_ID="
19 url_end="-01&IS_SHOW_GROUP=1&IS_SHOW_LIABILITIES=1"
20
21 m_subtr=$(expr $m - 1)
22 m_s=$m_subtr""
23 if [ ${#m_s} -eq 1 ]
24 then m_prev="0"$m_s
25 else m_prev=$m_s
26 fi
27
28 url_whole=$url_beg$property_ID"&REGION_ID=0&date1="$y"-"$m"
-01&date2="$y"-"$m_prev"$url_end
29 curl -o $file_path $url_whole
30
31 done
32 done
33 done
34 exit 0

```

Приложение В.

Структура баланса банка.

----- БАЛАНСОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ -----

Активы нетто

Высоколиквидные активы

Денежные средства в кассе (% в гр. "Высоколиквидные активы")

Денежные средства в кассе оборот (% в гр. "Денежные средства в кассе")

Ностро-счета (% в гр. "Высоколиквидные активы")

Кредиты физическим лицам (% в "Активы нетто") (200)

до 180 дней (Кредиты физическим лицам)

от 181 до 1 года (Кредиты физическим лицам)

от 1 до 3 лет (Кредиты физическим лицам)

более 3 лет (Кредиты физическим лицам)

Овердрафты и прочие предоставленные средства (Кредиты физическим лицам) (250)

Просроченная задолженность (260)

Выданные мбк (% в "Активы нетто") (120)

размещенные мбк в цб рф (% в "выданные мбк") (121)

размещенные мбк в цб рф оборот (размещенные мбк в цб рф)

выданные мбк оборот всего (выданные мбк)

Кредиты предприятиям и организациям (300)

Кредиты предприятиям и организациям / Сроком до 180 дней (310)

Кредиты предприятиям и организациям / Сроком от 181 дня до 1 года (320)

Кредиты предприятиям и организациям / Сроком от 1 года до 3 лет (330)

Кредиты предприятиям и организациям / Сроком более 3 лет (340)

Кредиты предприятиям и организациям / Овердрафты (350)
 Кредиты предприятиям и организациям / Просроченная задолженность (360)

Активы нетто / Бумаги переданные в РЕПО (190)
 Активы нетто / Прочие активы (180)
 Активы нетто / Основные средства и нематериальные активы (170)
 ?? Вложения в ценные бумаги: акции, облигации, векселя (ценные бумаги переданные в РЕПО) (70)

Пассивы

Вклады физических лиц (% в пассивах) (60) (400)
 вклады физических лиц оборот (401)
 счета (%Вклады физических лиц) (410)
 оборот (411)
 до 90 дней (420) + оборот (421)
 91-180 (430) + оборот (431)
 181-год (440) + оборот (441)
 1-3 года (450) + оборот (451)
 более 3 лет (460) + оборот (461)
 Средства предприятий и организаций (% в пассивах) (500)
 оборот (501)
 счета (510)
 оборот (511)
 по срокам + оборот
 Средства предприятий и организаций / Сроком более 3 лет (560)
 Сроком более 3 лет / Сроком более 3 лет оборот (561)
 Средства предприятий и организаций / Сроком от 1 года до 3 лет (550)
 Сроком от 1 года до 3 лет / Сроком от 1 года до 3 лет оборот (551)
 Средства предприятий и организаций / Сроком от 181 дня до 1 года (540)
 Сроком от 181 дня до 1 года / Сроком от 181 дня до 1 года оборот (541)
 Средства предприятий и организаций / Сроком от 91 до 180 дней (530)
 Сроком от 91 до 180 дней / Сроком от 91 до 180 дней оборот (531)
 Средства предприятий и организаций / Сроком до 90 дней (520)
 Сроком до 90 дней / Сроком до 90 дней оборот (521)
 Привлечённые МБК (% в пассивах) (600)
 оборот (Привлечённые МБК) (610)
 привлечённые от цб рф (Привлечённые МБК) (620)(630)
 оборот (621)
 Выпущенные облигации и векселя (% в пассивах -- очень низкий) (700)
 Облигации (Выпущенные облигации и векселя) (720)
 Векселя(Выпущенные облигации и векселя) (710)

Капитал 123 (25)(850)
 ЛОРО-счета (1900)
 Капитал 134 (20)(800)
 Чистая прибыль (30)(900)

----- ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ -----

Рентабельность активов нетто
 Рентабельность капитала
 Уровень просроченной задолженности по кредитному портфелю
 Уровень резервирования по кредитному портфелю
 Уровень обеспечения кредитного портфеля залогом имущества
 Валютный оборот к активам-нетто
 оборот по валютным операциям в тыс. рублей (% в "Валютный оборот к активам-нетто")
 Н1 (1600)
 Н2 (1700)
 Н3 (1800)

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Активы нетто	
Чистая прибыль	(30=900)
Капитал 123	(25=850)
Капитал 134	(20=850)
Кредитный портфель	(40)
Просроченная задолженность в кредитном портфеле	(50)
Вклады физ.лиц (% в пассивах)	(60=400)
Вложения в ценные бумаги	

Гулева Валентина Юрьевна
Боченина Клавдия Олеговна

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ФИНАНСОВЫХ СИСТЕМ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных и практических работ

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49