

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный университет»
(Астраханский государственный университет)

кафедра философии

РЕФЕРАТ

**для сдачи кандидатского экзамена
по истории и философии науки**

на тему: «История исследования сложных сетей»

Выполнил:

Жирнова Т.А.

Кафедра информационных технологий

Астрахань – 2020 г.

Оглавление

Введение.....	3
История исследования сложных сетей.....	4
Ф. Э. Каринти.....	4
А. Рапопорт и Р. Соломонов.....	5
П. Эрдёш и А. Реньи.....	6
Л. А. Хамерсли.....	7
И. Пул и М. Кочен.....	7
Д. Прайс.....	8
С. Милгрэм.....	9
С. Реднер.....	10
Кастро и Д. Гроссман.....	10
М. Ньюман, А. Л. Барабаши и Д. Вотс.....	11
Сложные сети.....	12
Интернет.....	12
Телефонная сеть.....	14
Электрические сети.....	15
Сети для анализа мифов.....	16
Информационные сети.....	17
Биологические сети.....	19
Заключение.....	20
Библиографический список.....	21

Введение

Граф — абстрактный математический объект, являющийся совокупностью двух множеств, представленных в виде точек (вершин) и ребер (соединение между вершинами), и применимый в различных областях науки.

С помощью графов можно моделировать системы, представленные в виде набора объектов и связей между ними. Теория графов даёт возможность анализировать ряд взаимодействий в биологии, химии, экономике, социологии и в других отраслях таких как математика, компьютерные науки. Графы используют при разработке программного обеспечения, проектирования баз данных.

За последние двадцать лет графы приобрели популярность. Это связано с тем, что графы — это универсальный инструмент, позволяющий обрабатывать и анализировать системы разной сложности, не зависимо от их предметной области [1]. Появление Всемирной Паутины, открытия в области компьютерных технологий предоставили возможность доступа к большому объёму информации. Теория графов вносит вклад в технологии накопления, обработки и поиска большого объёма информации.

Граф, который построен на основе реальных данных называется «сложной сетью». К сложным сетям можно отнести социальные сети, информационные сети, биологические сети, электрические сети, телекоммуникационные сети и т.д.

В реферате будут рассмотрены этапы исследования сложных сетей учеными, начиная с 1736 года, рассмотрен их вклад в развитие сложных сетей, а также применение таких сетей в различных областях науки, начиная от естественных, заканчивая точными науками. В связи с тем, что на начальном этапе развития сложные сети были малоизвестными, была непонятна область их применения, поэтому некоторые работы находились в черновом варианте, так как авторы не нашли поддержки среди остальных ученых или по иным причинам бросили развивать свою идею. Некоторые из подобных научных исследований были написаны намного раньше опубликованных работ других авторов. Но я считаю целесообразным их рассмотреть в хронологическом порядке, не по дате публикации работы в журнале, а по дате «зарождения» этих идей.

История исследования сложных сетей

Отцом теории графов принято считать математика Л. Эйлера, опубликовавшего решение математической загадки «Задача Кёнигсбергского моста» в 1736 году.

Доказательство Л. Эйлера стало первой теоремой в теории графов, которая за последние три столетия стала основным математическим языком для описания свойств сетей. Сеть представляет собой набор вершин (дискретные элементы) и ребер (соединения), которые соединяют элементы, обычно в парном порядке. Интенсивное развитие теории графов приходится на конец 50-х годов XX века после ряда опубликованных работ П. Эрдёша и А. Реньи об эволюции случайных графов [2], однако, первая работа, рассмотренная в этом разделе, принадлежит Ф. Э. Каринти [3].

Ф. Э. Каринти

Работа Ф. Э. Каринти, не являющаяся научной статьей, представлена в виде художественного произведения, опубликованного в 1929 году, в котором описывается теория «шести уровней разделения», приведшая к концепции, известной под названием «эффект малого мира». В одной из глав произведения «Цепи», автор поднял вопросы, с которыми сетевая наука разбиралась в течение многих лет. Главный герой произведения рассуждал о «уменьшении» размеров Земли, подразумевая под этим изменение расстояния между людьми, обосновывая свои рассуждения тем, что любой человек на планете по его (чьей-то ещё) воле может за небольшой промежуток времени узнать информацию, которая предназначалась для этого человека. Таким образом, встает вопрос о возможностях передачи информации путем связи людей друг с другом. В пример приводятся процесс передачи информации между Юлием Цезарем и вождём племени (майя, ацтеков и т.д.), живших в то время в Америке. Главный герой утверждает, что люди связаны между собой через своих знакомых, и что паутина из таких взаимоотношений приводит к взаимосвязанному миру, в котором каждый человек на Земле оказывается не более чем в пяти знакомых друг от друга. В ходе рассуждений выросла довольно увлекательная игра, в которой проводился эксперимент, целью которого стало нахождение доказательства того, что население планеты Земля в настоящее время намного ближе друг к другу, чем, когда-либо прежде. Из полутора миллиарда жителей Земли выбирался один человек, не зависимо от того, где он находится. Условия игры заключались в том, что в итоге должна получиться цепочка связей из пяти человек, один из которых является личным знакомым участника, с которым необходимо связаться для передачи информации для человека — X (цель). После того, как условия игры были обговорены герои рассказа выбрали целевой объект — Сельму Лагерлёф¹.

¹ Сельма Оттилия Лови́за Ла́герле́ф (1858–1940) — шведская писательница, первая женщина, получившая Нобелевскую премию по литературе в 1909 г.

Когда игра началась один из участников начал строить цепочку знакомств. Он вспомнил, что Сельма Лагерлёф довольно известная, т. к. недавно получила Нобелевскую премию по литературе. Как известно, по правилам Нобелевскую премию ей вручить должен был король Швейцарии Густав. Значит, они знакомы. Игрок продолжает строить цепочку, в которой установил связь между королем и следующим звеном. Оказалось, что король Густав любит играть в теннис и участвует в международных теннисных турнирах. На одном из таких турниров он играл в теннис с мистером Керлингом. И так получается, что сам игрок лично знаком с мистером Керлингом. Получилось всего два звена. И это было не удивительно, потому что объект — цель была довольно знаменита, а, как известно, популярную фигуру знают почти все, поэтому намного легче найти человека, который ее знает. Тогда задачу решили усложнить. Выбрать какого-то заурядного, незначительного человека. Теперь необходимо было найти цепочку контактов, связывающую главного героя с анонимным клепальщиком в Ford Motor Company, — и выполнить ее в четыре этапа. Далее главный герой самостоятельно начинает строить цепочку знакомств, состоящей из четырех звеньев. Игра продолжалась до тех пор, пока герои рассказа не пришли к выводу, что никому из группы не требовалось больше пяти звеньев в цепи, чтобы добраться, просто используя метод знакомства, до любого жителя нашей планеты. Так, в рассказе Ф. Каринти «Звенья цепи» впервые появилось правило «шести рукопожатий»².

А. Рапопорт и Р. Соломонов

Первыми, кто выдвинул идею рассмотрения статистических параметров в изучении графов были А. Рапопорт и Р. Соломонов (1951 г), систематизировавшие впервые случайный граф. Так, в статье ученых впервые появляется понятие «случайный граф» [4]. Такого рода граф имеет наиболее важные свойства моделей, поскольку отношение числа ребер к вершинам в нем увеличивается, сеть достигает точки, в которой она подвергается резкому скачку. Для примера рассматривается совокупность точек, из каждой точки выходит некоторое количество направленных наружу линий (аксонов). Каждый аксон заканчивается в какой-то точке совокупности, и вероятность того, что аксон, выходящий из одной точки, заканчивается в другой точке, одинакова для каждой пары точек в совокупности. Результирующая конфигурация представляет собой случайную сеть. В случайной сети существует путь от точки А до точки В, который предоставляет возможность прослеживания направленных линий от точки А через любое число промежуточных точек, на которых эти линии пересекаются, до точки В. Предположим, что В удалена на t аксонов от А, если t — наименьшее число аксонов, содержащееся в любом пути от А до В. Точка А сама по себе удалена

² В 2006 г. сотрудники компании Microsoft Юре Лесковец и Эрик Хорвитц провели углубленное исследование, доказывающее гипотезу «шести рукопожатий».

на ноль аксонов от A . Все остальные точки, на которых заканчиваются аксоны [начинающиеся на точке] A , удалены от [неё] на один аксон. Места, где заканчиваются аксоны из последних точек и которые не являются удаленными одним или нулем аксонов, являются удаленными двумя аксонами и т. д. Понятие случайной сети может быть обобщено, если не предполагается, что вероятность прямой связи между каждой парой точек в сети одинакова, в этом случае необходимо определить эту вероятность для каждой пары точек. Это можно сделать, например, с точки зрения расстояния между ними или каким-то другим способом.

Авторы обсуждают три естественные системы, в которых такие сети имеют место быть: нейронные сети, социальные сети физических контактов, ответственные за распространение болезни, и сетевая проблема, корнящаяся в генетике.

Также в статье [4] дается определение такой величины, как «слабая связанность» — ожидаемое число вершин, достижимых через сеть из случайно выбранной вершины (в настоящее время термин «слабая связанность» обозначает средний размер компонента в сети), выводится итерационное отношение для слабой связанности, разбирается алгоритм поиска компонентов. Авторы определяют средний размер компоненты, её зависимость от средней степени, где степень является числом ребер, соединенных с вершиной. В работе показано, что при $a < 1$ сеть разбивается на множество небольших изолированных островков, но, когда средняя степень превышает $a = 1$, образуется гигантская компонента, содержащая конечную долю всех вершин в сети. Таким образом, Р. Соломонов и А. Рапопорт в 1951 году своей работой предрекли существование фазового перехода от фрагментированной сети для $A < 1$ к сети, в которой доминирует гигантская составляющая для $a > 1$. Несмотря на значительный вклад в развитие случайных графов Р. Соломоновым и А. Рапопортом в 1951 г., теория случайных графов была оставлена без должного внимания. Только к концу 1950-х и началу 1960-х годов, после важных исследований, над которыми авторы работали фактически в одно время, случайные графы приобрели популярность.

П. Эрдёш и А. Реньи

С 1959 г. по 1968 г. учеными было опубликовано восемь работ, посвященных теории случайных графов, которые дали толчок для изучения и исследования сетей. Особый интерес вызывает статья, рассматривающая эволюцию структуры случайных графов по мере увеличения средней степени. В работе показаны свойства случайных графов, которые появляются не постепенно, а внезапно, когда к графу добавляется достаточное количество ребер. Используя определение вероятности графа, было доказано, что почти каждый граф из N вершин имеет свойство Q . Также было изучено поведение множества различных свойств как функции вероятности P существования ребра между любыми двумя вершинами и показано, что для многих свойств существует критическая вероятность $P_c(N)$ такая, что

если $P(N)$ растет медленнее, чем $P_e(N)$, то почти каждый граф с вероятностью связи $P(N)$ не имеет свойства Q И наоборот, если $P(N)$ растет быстрее, чем $P_e(N)$, то почти каждый граф обладает свойством Q .

Л. А. Хамерсли

В 1957 г. в работах Л. А. Хамерсли были рассмотрены модели перколяции, которые тесно связаны со случайными графами [5]. В представленных моделях связей большое внимание уделено изучению свойств системы, при условии наличия занятости связей на решетке или сети. Проводимые исследования касались вопросов о средних размерах кластеров участков решетки, которые заняты связями, и существовании «охватывающего кластера» в пределе большого размера системы. Модель случайного графа эквивалентна перколяции связей на полном графе, следовательно, методы, которые были разработаны для изучения перколяции, применимы и к случайным графам. Большое время было затрачено на изучение поведения моделей перколяции, близких к фазовому переходу, при котором образуется охватывающий кластер. В ходе исследования были получены результаты для случайного графа, такие как значения критических показателей, которые могут быть извлечены из теории среднего поля.

И. Пул и М. Кочен

Следующая статья, которая посвящена изучению о паттернах социальных контактов И. Пула и М. Кочена была опубликована в 1978г., однако эта статья была написана авторами ещё в 1958г. и распространялась на протяжении многих лет в виде препринта [6]. В этой работе авторы затронули многие вопросы, на которые они недостаточно полно и качественно ответили, с точки зрения самих авторов. Поэтому они не представили свою работу для публикации в журнале и только через двадцать лет авторы дали согласие на публикацию этой важной статьи в журнале «Социальные сети». Их работа послужила источником вдохновения для многих других работ, в том числе для эксперимента С. Милгрэма под названием «малый мир».

В своей второй статье И. Пул и М. Кочен обращают внимание на вопросы, возникающие при работе с социальными сетями [7]. В работе исследуется «объем знакомства» человека в сети, рассматривается структура сети, количество контактов между людьми и т. д. В дополнении к этим вопросам были рассмотрены вопросы о путях между парами индивидуумов. Авторы ссылаются на то, что очень трудно определить какое количество социальных контактов имеет человек. Первая причина заключается в том, что нет конкретного определения относительно того, что из себя представляет социальный контакт. Вторая причина, которая осложняет задачу — человек не может конкретно и в полной мере оценить

количество своих знакомых, если определение термина «социальный контакт» станет ясным. Как известно, в большинстве случаев человек может недооценивать объем своих знакомств. И. Пул и М. Кочен используют в своей работе математические модели, которые основываются на случайном графе. Таким образом, применив эту модель, ученые строят предположения о характеристиках социальных сетей. Так, в статье впервые в научных терминах появляется явление, которое теперь носит название «эффект малого мира». Авторы предполагают, что каждый человек имеет около 1000 знакомых, тем самым предсказывая, тот факт, что большинство пар людей на земле могут быть связаны через путь, который проходит через два промежуточных знакомства. Также они допускают, что группировка сообществ и социальная стратификация внутри сети могут оказать влияние на их выводы. Однако, после проведения вычислений авторы приходят к выводу, что социальные слои оказывают незначительное влияние на среднее расстояние между индивидуумами.

Д. Прайс

Статья Д. Прайса под названием «сети научных статей» была опубликована в 1965 г. и являлась ценным вкладом в науку, в значительной степени в математику и физику [8]. В работе ученый изучает одну из древнейших информационных сетей — сеть цитирования между научными работами. Научные публикации и статьи принимались условно за вершины, а направленные ребра от одной статьи к другой показывали, что первая статья цитирует вторую в своей библиографии. Д. Прайс оказался одним из первых, кто рассмотрел структуру цитирования как сеть и представил подробный статистический анализ этой сети, используя базы данных цитирований, которые только начали появляться. Поскольку сети цитирования ориентированы, каждая статья в такой сети имеет как внешнюю степень (число статей, которые она цитирует), так и внутреннюю степень (число статей, в которых она цитируется). Ученый приступил к изучению распределения не только входящих, но и исходящих степеней и обнаружил, что оба имеют степенные хвосты с экспонентами около — 2 и — 3 соответственно. В настоящее время известно, что сети с распределением степеней степенного закона возникают в различных условиях и часто называются «сетями без масштаба». После исследования, проведенного Д. Прайсом, качество данных о цитировании улучшилось. Рассмотренная статья — не единственный вклад автора в науку.

В 1976 году была опубликована статья Д. Прайса, в которой автор дает описание возможного механизма генерации степенных законов, наблюдаемых в распределении цитирования, ссылаясь на работу Г. Саймона (1955), он предложил, чтобы статьи, которые имеют много цитат, получали дальнейшие цитаты пропорционально тому количеству, которое они уже имеют. Этот процесс был назван «кумулятивное преимущество». В работе

Д. Прайса была дана математическая модель этого процесса, в которой было продемонстрировано, что «кумулятивное преимущество» действительно приводит к степенным распределениям, наблюдаемым в данных. В настоящее время этот процесс известен под другим названием «преимущественная привязанность» и широко принят в качестве объяснения возникновения степенных законов распределения степеней вершин в разнообразных сетях, как всемирная паутина, социальные сети и биологические сети и т. д.

С. Милгрэм

В конце 1960-х годов С. Милгрэм привлек внимание общественности знаменитым экспериментом «малого мира». Ученый работал вместе с Х. Уайтом и И. Пулом и оказавшись под влиянием их идей, решил заняться разработкой эксперимента, доказывающего догадки И. Пула и М. Кочена о длине пути между людьми в социальных сетях. Первая работа С. Милгрэма не носившая строго научный характер, была опубликована в 1967 г., в которой автор описал свои эксперименты о «маленьком мире». После первой серии экспериментов С. Милгрэм начал сотрудничать с Д. Трэверсом. Вместе они провели эксперименты с новыми участниками (испытуемыми) и более детальными количественными анализами, после которого была опубликована общая статья, объясняющая ряд новых экспериментов [9]. Для исследования ученым необходимо было выбрать целевую аудиторию (персоны и группы индивидуумов). Каждому из участников был отправлен пакет с небольшой брошюрой, в которой участники должны были указать некоторую информацию о себе. Правила были простыми. Каждый участник должен был попытаться передать свою брошюру для целевой персоны через своих знакомых, которые должны были либо знать целевую персону, либо знать человека, который мог знать цель. В брошюре указывалась информация о С. Милгрэме и Д. Треверсе на случай, если брошюра потеряется и не дойдет до целевой персоны. Это было необходимо для того, чтобы ученые могли отследить связи и восстановить путь, пройденный брошюрой. В эксперименте принимали участие 296 начинающих сотрудников, 196 из Омахи, Небраски и еще 100 из Бостона. Целевой персоной назначили биржевого маклера, жившего в Шароне, штат Массачусетс. В итоге 64 из 296 цепочек достигли цели, 29% из тех, что стартовали. Число промежуточных знакомств между источником и целью варьировалось от 1 до 11, медиана — 5. 2. Пять промежуточных знакомых дают нам понять, что в цепочке знакомств было всего шесть шагов это именно тот результат, который перешел в популярный миф во фразе «шесть степеней разделения». Стоит отметить, что буклеты, которые должны были пройти по более длинной цепочке терялись намного чаще, поэтому в эксперименте, с целью оценки средней длины цепочки, использовались более короткие пути. Позже Х. Уайт рассчитал поправку к результатам, которые получили С. Милгрэм и Д. Трэверс, и обнаружил, что разница в цифрах оказалась не

очень большой, среднее расстояние с 6 шагов увеличилось до 8. Существуют и другие эффекты, которые действуют в противоположном направлении, делая среднее расстояние короче, чем 6 шагов. Таким образом, реальное расстояние между участниками могло быть намного короче, чем зафиксированное экспериментом С. Милгрэма и Д. Трэверса.

С. Реднер

В 1998 г. была опубликована статья [10]. В своей работе С. Реднер самостоятельно открыл степенной закон Прайса, используя две большие базы данных цитирований статей по физике. Ученый занимался исследованием частоты цитирования 783 339 статей, опубликованных в 1981 г. и процитированных более 6 миллионов раз между 1981 г. и 1997 г., используя данные, собранные Институтом научной информации. Тщательный анализ, представленный в статье, показывает, что степень сети цитирования действительно имеет степенной хвост с показателем степени, приблизительно равным — 3. Второй набор данных, собранный из библиографий 24 296 статей, опубликованных в журнале *Physical Review D* в период с 1975 г. по 1994 г. год, показывает аналогичные результаты.

Статья [11] посвящена сети, сформированной паттернами научной публикации, обобщает идею, которая была актуальна в математическом сообществе в течение нескольких десятилетий, но редко изучалась формально. В работе рассматривается сеть, в которой вершинами являлись бы математики и ученые, с границей между любыми двумя вершинами, если исследователи, которых они представляют, являются соавторами одной или нескольких совместных работ. Для каждой вершины было определено число — число Эрдёша, как длина кратчайшего пути от этой вершины до П. Эрдёша по краям сети. В описании работы было принято, что у П. Эрдёша есть число «Erdős» равное 0, а у его соавторов это число будет равно 1. Ученые, у которых нет числа Эрдёша равного 0 или 1, публикуются с кем-то другим, у кого есть номер 2 и так далее. Таким образом, все, кто не связан с П. Эрдёшом, имеют номер 00. Стоит отметить, что у большинства математиков и других исследователей из разных областей науки не возникало трудностей с установлением достаточно низкой верхней границы для своего числа Эрдёша.

Р. Кастро и Д. Гроссман

Р. Кастро и Д. Гроссман предположили, что большая часть ученых математиков двадцатого века имеют довольно малое конечное число Эрдёша [12]. В доказательство этого авторы для достоверности их догадки наносят на карту пути через сеть сотрудничества к П. Эрдёшу от самых разных начинающих исследователей. На верхние пределы выводятся Нобелевские лауреаты в области физики, биологии, экономики и т.д. Р. Кастро и Д. Гроссман допускают вероятность того, что большинство ученых в этих областях могут быть связаны с соответствующими Нобелевскими лауреатами небольшим количеством ступеней,

после чего предполагают, что большинство ученых имеют небольшие числа Эрдёша. Этот пример является еще одной демонстрацией эффекта малого мира, на этот раз в контексте научного сообщества.

М. Ньюман, А. Л. Барабаши и Д. Вотс

В 2006 году была опубликована работа «The structure and dynamics of networks», написанная выдающимися учеными нашего времени М. Ньюман, А.- Л. Барабаши, Д. Вотс [13]. В книге описана предыстория развития сетей, а также подробно изучены сети сотрудничества по различным предметам, включая сети биологов, физиков и специалистов по информатике, акцент авторы делают на в понимании эволюции сетей сотрудничества во времени, используя данные для публикаций в области математики и нейронауки. Ученые уделили особое внимание сложным сетям, привели наглядные примеры, иллюстрирующие проблемы, в которых понятие сети, определяемое вероятностью связей между ее точками, кажется полезным.

1. Проблема в теории нейронных сетей. Предположим, что точки сети — это нейроны. Какова вероятность того, что существует путь между произвольной парой нейронов в сети? Если сеть имеет смещение, какова вероятность того, что существует путь между указанной парой? В частности, какова вероятность того, что нейрон является мемом после цикла (т.е. существует путь от нейрона к самому себе через любое положительное число интернов)? Или кто-то может спросить, какова вероятность того, что существует путь от данного нейрона к каждому другому нейрону в сети?

2. Проблема в теории эпидемий. Предположим, что несколько особей в замкнутой популяции заражаются заразной болезнью, которая длится конечное время, а затем либо убивает их, либо делает их невосприимчивыми. Если вероятность передачи инфекции определена для каждой пары особей, то каково ожидаемое число особей, которые заразятся болезнью в указанное время? В частности, каково ожидаемое число индивидуумов, которые в конечном итоге (через ограниченное время) заболеют этой болезнью? Или же какова вероятность того, что все население погибнет? Заметим, что если вероятность передачи одинакова для каждой пары индивидуумов, то мы имеем дело со случайной сетью.

3. Проблема математической генетики. Учитывая вероятность спаривания между каждой парой особей в популяции (в зависимости от их расстояния, родства или тому подобного), каково ожидаемое число предков данного порядка для каждой особи? Очевидно, что чем меньше ожидаемое число предков, тем больше генетическая однородность популяции. Каждая из этих задач может быть формализована путем построения «дерева вероятностей».

Сложные сети

Существует несколько основных типов сетей, изучаемых современной наукой и эмпирических методов, используемых для определения их структуры [14].

К наиболее часто изучаемым классам сетей можно отнести: технологические сети, социальные сети, информационные сети и биологические сети. Стоит отметить, что классы определены не строго, в связи с некоторым пересечением между ними и поэтому некоторые сети могут относиться более чем к одному классу.

Интернет

Первая сеть, которая будет рассматриваться это сеть интернет, которую можно отнести к классу технологических сетей. Разработками в создании Интернета занимались ученые США, однако попытка связи между университетами в Стэнфорде и в Лос-Анджелесе оказалась успешной только 29 октября 1969 г. Сначала была разработана всего лишь программа для отправки электронной почты, затем интерес к сети интернет вырос, ученые начали разрабатывать и усовершенствовать огромное множество программ, после чего появились научные сети, и вот, в настоящее время сеть интернет уже образует основу современных технологических обществ. Интернет — это глобальная сеть соединений, связывающих компьютеры и другие информационные системы вместе, для передачи данных (электрических, оптических и беспроводных) с коммутацией пакетов. Сообщения, отправленные через интернет с одного компьютера, разбиваются на небольшие порции данных, отправляющихся отдельно по сети и собирающихся в законченное сообщение на другом компьютере. Пакеты соответствуют принятым стандартам и включают в себя IP-адрес, который указывает место назначения пакета, чтобы его можно было правильно маршрутизировать по сети. Использование модели с коммутацией пакетов для Интернета позволяет компьютерам передавать и получать данные с перерывами или с разной скоростью, не ограничивая пропускную способность сети. Из-за того, что пакеты могут быть маленькими, они могут не достичь места назначения и исчезнуть в Интернете. Это явление может быть связано с аппаратным, программным сбоями или с загруженностью сети (пакеты могут самостоятельно удалиться чтобы не утяжелять самые загруженные места в сети). Необходимую проверку ошибок выполняет программный протокол под названием Transport Control Protocol. TCP работает поверх IP и выполняет необходимую проверку ошибок, а также повторную автоматическую передачу сообщений, без необходимости вмешательства со стороны пользователей компьютера или другого программного обеспечения.

Сетевая структура интернета не зависит от каких-либо правил, не контролируется правительством, все протоколы и принципы работы создаются неформальной доброволь-

ной организацией, называемой Целевой группой по инженерным вопросам. Однако у пользователей нет необходимости в общении с Центральной группой для того, чтобы создать что-то новое в сети, например, группу, виртуальное сообщество.

В настоящее время Интернет охватил, можно даже сказать «окутал» человечество своими сетями. Сейчас пользователями интернета является не только молодое население, но и пожилые люди, а также маленькие дети. В связи с тем, что информационные технологии стремительно развиваются и используются фактически везде, уже сложно представить без них нашу повседневную жизнь. Безусловно, развитие коммуникаций облегчили жизнь населению Земли, однако, как определил в своей работе «Materials for an exploratory theory of the network society» М. Кастельс современное общество превратилось в «сетевое» [15]. А это значит, что под влиянием сетевых технологий человек изменил своё мышление, сознание и бытие. Так как стремительно появляются новые возможности коммуникации общество приобретает сетевой индивидуализм, в связи с этим формируется новая среда жизнетворчества человека. За последние десятилетия люди пережили психологическую трансформацию сознания, у них исчезает необходимость общения вживую за счет социальных сетей. Именно интернет стал основоположником сетей нового типа — социальных сетей, в которых люди контактируют между собой посредством блогов, форумов, интернет — конференций и т.п. Свою популярность социальные сети приобрели из-за того, что удовлетворяют потребности пользователей. Интернет приобрёл большую значимость, т.к. стал пространством общения между людьми, стал отражением не только их образа жизни, но и мыслей, интересов, деятельности. Он стал составляющей частью не только материальной, но и духовной культуры человека. Интернет способен влиять на личностные характеристики общества. Благодаря ему становится возможным осмыслить мотивации к собственной деятельности, а также характеристики идеального «Я» субъекта. Можно сказать, что человек познает себя, грани своего характера, личностные качества и возможности. В виртуальных сообществах все чаще формируется набор ценностей, этических норм, стандартов. Однако, социальные сети не могут заменить вербальное общение, и люди, которые не нуждаются в живом общении на самом деле — одинокие люди. Виртуальный мир, который себе создают такие индивидуумы всего лишь результат утраты связи с реальным миром, что приводит его к эгоцентризму. Также не стоит забывать о феномене под названием «умные толпы» [16]. В настоящее время развитые интернет технологии позволяют мгновенно создать такого рода толпы. При этом участниками могут быть люди, не знающие друг друга и совершенно разные по критериям (возраст, национальность, род деятельности, увлечения, социальный статус, религия и т. д.), но действовать согласованно. Последствием использования такой толпы в личных или политических целях могут быть не предсказуемыми.

Телефонная сеть

Альтернативой сети с коммутацией пакетов является сеть с коммутацией каналов, классическим примером которой является телефонная система. В сети с коммутацией каналов вершины запрашивают соединения при необходимости, например, когда выполняется телефонный вызов, и сеть выделяет отдельную схему для каждого соединения, зарезервированную для единственного использования этого соединения, пока соединение не будет завершено[17]. Подобная схема хорошо работает применимо голосового трафика, который состоит из отдельных телефонных звонков, имеющих определенное начало и конец. Однако такая схема не подходит для сети передачи данных, в которой передача данных происходит в основном короткими, прерывистыми пакетами. Одна из старейших сетей связей — телефонная сеть, представляет собой сеть стационарных и беспроводных линий связи. Данные о структуре телефонных сетей, в основном, принадлежат телефонным компаниям, владеющих сетью. Несмотря на то, что данные не являются засекреченными, они не передаются для исследования научному сообществу, поэтому из-за отсутствия достоверных и полных данных о структуре телефонной сети, ученые уделяли меньше внимания её изучению. Однако некоторые общие принципы работы телефонной сети известны. Так, сигналы, передающиеся по телефонной сети, не разбираются и отправляются как наборы дискретных пакетов. Вместо этого телефонная сеть имеет коммутацию каналов, что означает, что телефонная компания имеет ряд линий или каналов, доступных для передачи телефонных вызовов между различными точками, и назначает их отдельным абонентам, когда эти абоненты выполняют телефонные вызовы. Первоначально телефонные сети представляли из себя отдельные провода (один провод на каждый звонок). Для увеличения количества вызовов было необходимо увеличить количество проводов. И только с начала двадцатого века, благодаря методам мультиплексирования телефонных сигналов, можно было совершать множество звонков по одному проводу. В большинстве стран, с развитой стационарной телефонной сетью используется трёхуровневый дизайн. Это означает, что персональные телефонные номера подключаются через телефонные линии к местным телефонным станциям, затем они подключаются через общие «магистральные» линии к междугородним офисам. Междугородние офисы затем соединяются между собой дополнительными магистральными линиями. Телефонная сеть имела примерно ту же топологию в течение большей части последних ста лет и до сих пор имеет ее сегодня, но многие детали о том, как работает сеть, изменились. В частности, на уровне соединительных линий некоторые телефонные сети больше не коммутируются. Вместо этого они теперь являются цифровыми сетями с коммутацией пакетов, которые работают не так, как в Интернете, с оцифрованными, разбитыми на пакеты голосовыми вызовами и передаваемыми по оптоволоконным каналам. Однако, с

появлением и развитием компьютерных сетей и Интернета, в том числе, возникла возможность передавать звонки с помощью IP-телефонии. Мультисервисные сети, за счет конвергенции услуг связи, начали использоваться не только для передачи данных в сети интернет, но и для телефонии.

Сейчас уже сложно представить современного человека без мобильного телефона. Ещё двадцать лет назад люди общались с помощью стационарных телефонов, не имея возможности выходить на связь с человеком, когда угодно, что безусловно облегчило жизнь, сделало её более комфортной. С помощью современных мобильных телефонов стало возможным не только связываться с окружающими, но и пользоваться дополнительными программами, которые позволяют нам оплатить коммунальные услуги, налоговые штрафы, заказать еду домой, сделать денежный перевод, не выходя из дома. Телефон стал не только незаменимым инструментом общения, но и неотъемлемой частью жизни человека. Однако, стоит отметить, что с появлением мобильных телефонов поменялся стиль жизни общества, изменились нравственные устои, социальное развитие людей, их психическое и физическое здоровье. Ученые выяснили, что основными объектами, подвергающимися влиянию сотовых телефонов, являются дети подросткового возраста. Именно дети с легкостью попадают в неосознанную зависимость от мобильных телефонов, которые оказывают влияние на формирование психологического состояния, нравственных норм поведения, ценностей и правил жизни в современном обществе. Стремительное распространение мобильных телефонов во всем мире привело не только к зависимости человека от телефона, но и к формированию новой модели поведения общества. Теперь модель телефона становится социальной ценностью, так, в обществе закрепилось мнение, что чем лучше модель телефона, тем выше социальный статус человека. Посредством сотовых телефонов и интернета в них, ведется незаконное распространение антиобщественных принципов морали, распространение негативного влияния на мнение человека, сообщества, относительно политических соображений. Люди, которые используют сотовые телефоны утрачивают возможность самостоятельно думать, ведь всю необходимую информацию можно найти в интернете. Люди с появлением мобильного телефона стали меньше общаться, встречаться в реальной жизни, выходить на прогулки, перестали ездить друг к другу в гости, в особенности молодое поколение, которое с подросткового периода привыкло общаться по телефону. Таким образом, с годами люди могут утратить нужду в вербальном общении, потерять ценности встреч и теплых разговоров с родными и близкими, за чашкой чая.

Электрические сети

Электрическая сеть — это сеть высоковольтных линий электропередачи, которые обеспечивают транспортировку электроэнергии на большие расстояния внутри стран и

между ними. Вершины в электрической сети соответствуют генерирующим станциям и коммутационным подстанциям, а края соответствуют линиям высокого напряжения. Для изучения сетей можно обратиться к органам и получить полные данные у специализированных издателей в бумажной или электронной форме, только за эти данные придётся заплатить. Как и Интернет, электрические сети имеют пространственный аспект; каждая из отдельных вершин расположена где-то на Земле, причем их распределение по планете зависит как от географических характеристик, так и от социальных и экономических. Электрические сети могут подвергаться каскадным сбоям, которые могут привести к неожиданным результатам, таким как наблюдаемое степенное распределение в размерах отключений электроэнергии. Не стоит забывать, что электрические сети — очень сложные системы, поэтому модели описания таких сетей достаточно трудоемкие [18]. Поток напряжения и мощности регулируется не только физическими законами, но и точным детальным контролем фаз и напряжений на линиях электропередачи. Контроль осуществляется сложными компьютерными системами или операторами—людьми. Таким образом, сбои электропитания в энергосистеме зависят, в основном, от действий оператора или разработки программного обеспечения.

Сети для анализа мифов

В 2016г. была опубликована статья авторов R. Kenna, P. Mac Carron под названием «Maths Meets Myths: Network Investigations of Ancient Narratives» [19]. Три года ученые работали над исследованием, в котором были применены идеи и инструменты статистической физики и теории сетей относительно мифологии. Работа вызвала резонанс в научном обществе, а её перспективы обсуждались на академических дискуссиях. Исследование строилось на основе анализа сети нескольких художественных произведений («Беовульф» и «Илиада»). Ученые обнаружили, что каждая из проанализированных искусственных сетей оказалась «маленьким миром», как социальная сеть. Но, выяснилось, что распределение связи между персонажами было диссортативным, при том, что вымышленные связи были очень надежные при целенаправленном удалении узлов с наибольшим количеством связей. Данные для анализа сетей собирались путем тщательного чтения каждого из произведений из разных источников, затем информация вводилась в базы данных. Было выделено два типа связей: «дружественные связи» (в случае, если персонажи знают друг друга или встречались где-то) и «враждебные связи» (если персонажи встречались на поле битвы), также связям был присвоен вес, в зависимости от частоты их встреч. Таким образом, по числу связей между персонажами произведений, были сделаны выводы о том, что они оказались «малыми мирами», в связи с тем, что имеют низкую среднюю длину пути и высокие коэффициенты кластеризации.

Информационные сети

Информационные сети — это сети, которые состоят из элементов данных, связанных между собой. Самый известный пример информационных сетей — Всемирная паутина. Также существуют и другие виды таких сетей, например, сети цитирования. Стоит отметить, что некоторые информационные сети могут иметь и социальные аспекты, в связи с нечеткой классификацией сетей. К таким сетям можно отнести сети электронной почты, социальные сети, такие как Facebook³ или LinkedIn⁴, а также сети блогов и онлайн-журналов. В сети интернет вершинами являются веб-страницы, которые состоят из информации, краями являются гиперссылки, позволяющие нам свободно перемещаться от страницы к странице. Поскольку гиперссылки работают только в одном направлении, сеть является направленной сетью. Некоторые пары веб-страниц связаны гиперссылками, идущими в обоих направлениях, которые могут быть представлены двумя направленными ребрами, по одному в каждом направлении между соответствующими вершинами. Всемирная паутина была изобретена учёными лаборатории физики высоких энергий CERN в Женеве как средство обмена информацией между собой и их коллегами в 1980 годах. Однако, вскоре стало понятно, что потенциал этого проекта гораздо выше. Менее известной обществу информационной сетью является сеть ссылок между академическими работами. И хотя эта сеть намного старше Всемирной паутины она не приобрела популярности у людей. Большинство статей ссылаются на одну или несколько других ранее написанных работ по тематике. Предшествующие работы, которые цитировались в статье, обычно, указывают в библиографии в конце статьи. Таким образом, можно построить сеть, в которой вершинами будут статьи, а связь между ними будет возникать в случае, если одна статья будет цитировать другую. Существует множество причин, по которым одна статья может ссылаться на другую — указывать на информацию, которая может быть полезна читателю, давать оценку предыдущей работе, указывать влияние на текущую работу или не соглашаться с содержанием статьи. Как правило, если одна статья ссылается на другую это указывает на то, что содержание предыдущей работы пересекается с содержанием другой, которая была написана позже. Поэтому сети цитирования показывают взаимосвязанность статей. Существует несколько отраслей информатики, занимающихся статистическим изучением цитат и публикаций: баблиометрия и наукометрия. Зачастую сбор данных осуществлялся вручную, способом ввода записей в библиографиях для того, чтобы создать базу данных, которую в дальнейшем можно будет использовать для сборки сети. Когда Д. Прайс проводил своё исследование подобные базы данных только начинали создаваться, поэтому он использовал

³ <https://ru-ru.facebook.com/>

⁴ <https://ru.linkedin.com/>

раннюю версию того, что сейчас называется «индексом научного цитирования». Индекс научного цитирования в настоящее время является одним из основных и наиболее широко используемых источников данных о цитировании. Существует ещё одна база данных Scopus⁵, которая предоставляет похожую услугу. Обе эти базы данных обслуживаются вручную профессиональным персоналом, поэтому все публикации, литература, входящие в базы являются точными и полными несмотря на то, что подобные данные являются довольно дорогостоящими. Если финансовая сторона для человека не имеет значения, то создание сети цитирования это всего лишь вопрос выбора работ, документов и статей, которые необходимо включить в базу данных, для нахождения ссылок между работами и добавления соответствующих направленных ребер в сеть, пока она не станет полной. В последнее время стало возможным автоматического индексирования, с помощью компьютера. Так, например, веб-сайт CiteSeer, выполняет индексацию цитирования статей по информатике и информационным технологиям, ища статьи, которые находятся в свободно доступе, а затем рассматривая их для того, чтобы найти цитаты на другие документы. Подобные операции являются довольно полезными, т.к. большинство статей не находятся в свободном доступе, и цитаты в некоторых работах или статьях могут иметь разные форматы, содержать ошибки, в связи с чем одна и та же статья может существовать в нескольких разных версиях. Другие проекты автоматической индексации цитирования включают Citebase⁶, которая индексирует физические статьи, и Google Scholar⁷. Как и при веб-сканировании, основная цель индексов цитирования не состоит в том, чтобы позволить нам изучить сетевую структуру цитирования. В первую очередь индексы цитирования представляют собой инструменты, позволяющие исследователям выяснить, кем была процитирована статья, найти интересные исследования. Несмотря на это данные из индексов цитирования применяются для реконструкции базовых сетей и изучения их свойств. Структура сетей цитирования аналогична Всемирной паутине. Вершины сети хранят информацию в форме текста и изображений, так же, как и веб-страницы, а ссылки с одного документа на другой играют роль, аналогичную гиперссылкам на веб-страницах, предупреждая читателя об информации, относящейся к теме одного документа. Хочется отметить, что статьи со многими цитатами зачастую являются более влиятельными и читаются намного чаще, чем остальные. Поэтому, ряд ученых озабочен количеством цитирования своих работ [20]. После появления наукометрических показателей произошли колоссальные изменения в их содержании. До начала

⁵ <https://www.scopus.com/home.uri>

⁶ <http://www.citebase.org/>

⁷ <https://scholar.google.com/>

освоения индексов научного цитирования наукометрические показатели большинства ученых были «девственным», не наращенными, никто из научного сообщества не стремился к их увеличению. Но со временем всё изменилось и индекс научного цитирования приобрел «окультуренный» характер, другими словами «искусственно выращенный». Существуют технологии наращивания индекса цитирования, такие как перекрестное цитирование и др.

Биологические сети

Сети широко используются во многих областях биологии в качестве удобного представления паттернов взаимодействия между соответствующими биологическими элементами [21]. Так в молекулярной биологии с помощью сетей представляют закономерности химических реакций между химическими веществами в клетке [22].

В нейробиологии сети применяются для представления закономерностей связей между клетками мозга [23]. Известно, что фактические сигналы, которые распространяются внутри нейронов, имеют электрохимический характер. В экологии экологи изучают сети взаимодействий между видами в экосистемах. Виды в экосистеме могут взаимодействовать различными способами. Они могут есть друг друга, они могут паразитировать друг на друге, они могут конкурировать за ресурсы или могут иметь любое из взаимовыгодных взаимодействий, таких как опыление или рассеивание семян. Хотя в принципе шаблоны взаимодействия всех этих типов могут быть представлены в объединенной «сети взаимодействия» с несколькими различными типами границ, экологи традиционно разделяют типы взаимодействия на разные сети. Например, пищевые сети — сети взаимодействий хищник-жертва (то есть, кто кого ест) — имеют долгую историю изучения. Сети хозяев и паразитов или мутуалистических взаимодействий изучены хуже, но, тем не менее, в последние годы им уделяется значительное внимание.

Также ученые уделяли особое внимание изучению сетей распространения эпидемии в графе, где вершиной является человек, а ребром — наличие социальной связи (например, знакомства, наличие семьи). «Эпидемии» представляют собой не только болезни, но и любое распространяющееся свойство, присущее вершинам графа [24]. С помощью подобных сетей можно осуществлять не только прогнозирование распространения эпидемий, но и информации, новостей в социальных сетях. Сети распространения эпидемий позволяют не только наглядно рассмотреть распространение эпидемий в рамках науки, с помощью таких сетей можно спрогнозировать модель распространения заболеваний, вероятность заражения людей, выявить очаг инфекций.

Заключение

Сети, такие как интернет, наукометрические сети, Всемирная паутина и электрические сети были предметом активного изучения в последние 70 лет [25]. Исследователи обнаружили, что большое разнообразие различных систем, таких как биологические, информационные, экономические и т. д. могут быть представлены в виде сетей и что, изучая подобные сети можно извлечь много пользы, многому научиться. Так, трудоемкие работы в сфере изучения всемирной паутины привело к созданию усовершенствованных и мощных веб-поисковых систем, которые превосходят по всем параметрам своих предшественников. Из метаболических сетей мы узнали о фундаментальном строении жизненного цикла человека, изучение эпидемиологических сетей позволило людям более наглядно рассматривать распространение болезней.

Изучение и использование сетей необратимо изменило жизнь современного общества [26]. Сложно представить наш быт без электроэнергии. А ведь не так давно люди не имели возможности использовать электричество в полной мере, пока не появились электрические сети. Конечно, с их появлением жизнь наполнилась комфортом, начиная от света в помещении, заканчивая бытовой техникой, которая работает от электроэнергии. Не осталось бесследным и появление телефонных сетей. Люди, проживающие в разных городах и странах, на других континентах могут связаться друг с другом в режиме реального времени, не говоря уже о сотовых телефонах, которые дают нам возможность общаться с другими людьми без привязки к месту, в отличие от стационарных телефонов. И это не единственный плюс мобильных телефонов, сейчас в смартфоне находится почти вся жизнь человека. С помощью мобильных приложений человек может организовывать свою жизнь. Сейчас в каждом телефоне есть интернет, ещё одна сложная структура сети. Интернет объединил в себе всё. На просторах интернета можно найти интересующую книгу, рецепты, видео и многое другое. Также не стоит забывать о социальных сетях, в которых группы людей общаются друг с другом. Однако, чрезмерное такое общение часто приводит человека к потере личности и своей индивидуальности, изменению его мировоззрения и ценностей.

Наука о сетях продолжает развиваться, в связи с этим, появляется много работ и статей, которые несут вклад в дальнейшее развитие сетей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Barabasi A. L., Posfai M. Network Science Introduction // Network Science. – Cambridge: Cambridge Univ Press, 2016. – С. 21-42.
2. Erdős P., Rényi A. On the evolution of random graphs // Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci. – 1960. – Т. 5, № 1. – С. 17-60.
3. Karinthy F. Chain-links // Everything is different. – 1929.
4. Solomonoff R., Rapoport A. Connectivity of random nets // The bulletin of mathematical biophysics. – 1951. – Т. 13, № 2. – С. 107-117.
5. Frisch H., Hammersley J. Percolation processes and related topics // Journal of the society for industrial and applied mathematics. – 1963. – Т. 11, № 4. – С. 894-918.
6. Pool I. D., Kochen M. CONTACTS AND INFLUENCE // Social Networks. – 1978. – Т. 1, № 1. – С. 5-51.
7. Kochen M. The structure of acquaintance nets and rates of societal development // Social Networks. – 1985. – Т. 7, № 4. – С. 323-339.
8. Price D. J. D. S. Networks of scientific papers // Science. – 1965. – С. 510-515.
9. Travers J., Milgram S. An experimental study of the small world problem // Social Networks Elsevier, 1977. – С. 179-197.
10. Redner S. Citation statistics from more than a century of physical review // arXiv preprint physics/0407137. – 2004.
11. Redner S. How popular is your paper? An empirical study of the citation distribution // European Physical Journal B. – 1998. – Т. 4, № 2. – С. 131-134.
12. Castro R., Grossman J. W. Famous Trails to Paul Erdős // The Mathematical Intelligencer. – 1999. – Т. 3, № 21. – С. 51-53.
13. The structure and dynamics of networks. / Newman M. E., Barabási A.-L. E., Watts D. J.: Princeton university press, 2006.
14. Boccaletti S., Latora V., Moreno Y., Chavez M., Hwang D. U. Complex networks: Structure and dynamics // Physics Reports-Review Section of Physics Letters. – 2006. – Т. 424, № 4-5. – С. 175-308.
15. Castells M. Materials for an exploratory theory of the network society // British Journal of Sociology. – 2000. – Т. 51, № 1. – С. 5-24.
16. Reinhold G. Smart crowd: a new social revolution // Fair-Press, Moscow, Russia, Pages. – 2006. – Т. 415.
17. Vanderlist J., Wehrmann R., Meissner P. A MODEL FOR THE SIMULATION OF TRANSMISSION CHARACTERISTICS OF ECHO PATHS IN THE TELEPHONE

NETWORK // Aeu-Archiv Fur Elektronik Und Ubertragungstechnik-International Journal of Electronics and Communications. – 1980. – Т. 34, № 10. – С. 407-413.

18. Zhang X., Moore C., Newman M. E. J. Random graph models for dynamic networks // European Physical Journal B. – 2017. – Т. 90, № 10. – С. 14.

19. Kenna R., Mac Carron P., Iop. Maths Meets Myths: Network Investigations of Ancient Narratives // International Conference on Computer Simulation in Physics and Beyond; Russian Fdn Basic Res F. A. S. O. H. S. E. и др. – Т. 681: Journal of Physics Conference Series – Natl Res Univ Higher Sch Econ, Moscow Inst Elect & Math, Moscow, RUSSIA: Iop Publishing Ltd, 2015. –

20. Wang X. G., Jiang T. T., Ma F. C. Blog-supported scientific communication: An exploratory analysis based on social hyperlinks in a Chinese blog community // Journal of Information Science. – 2010. – Т. 36, № 6. – С. 690-704.

21. Girvan M., Newman M. E. J. Community structure in social and biological networks // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2002. – Т. 99, № 12. – С. 7821-7826.

22. Guimera R., Amaral L. A. N. Functional cartography of complex metabolic networks // Nature. – 2005. – Т. 433, № 7028. – С. 895-900.

23. Rubinov M., Sporns O. Complex network measures of brain connectivity: Uses and interpretations // Neuroimage. – 2010. – Т. 52, № 3. – С. 1059-1069.

24. Pastor-Satorras R., Vespignani A. Epidemic spreading in scale-free networks // Physical Review Letters. – 2001. – Т. 86, № 14. – С. 3200-3203.

25. Strogatz S. H. Exploring complex networks // Nature. – 2001. – Т. 410, № 6825. – С. 268-276.

26. Newman M. E. J., Girvan M. Finding and evaluating community structure in networks // Physical Review E. – 2004. – Т. 69, № 2. – С. 15.