O.V.K — X.T.R

СЕТЬ

УЗЛЫ, СВЯЗИ И МЕРА



УСТРОЙСТВО, ПОТОК И ЖИВУЧЕСТЬ

❖

O.V.K — X.T.R

СЕТЬ

УЗЛЫ, СВЯЗИ И ПОТОК

Продолжение книги о кибернетике —
об устройстве связей: от кёнигсбергских мостов
к пакетной связи, живучести и власти над потоком

✻

НАСТОЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ

«Смотри не на узлы, а на связи. Узел говорит, кто есть; связь говорит, что будет».

— из тетради связиста

❖

Книга писана для того, кто строит связи
и для того, кто в них живёт.
Устройство изложено как устройство,
границы — как границы,
и ничто не выдаётся за закон природы.

Оглавление

❊ ❊

Часть первая. Основания

I. Что такое сеть 2
II. Слово и его происхождение 3
III. Три основания 4
IV. Эйлер и мосты Кёнигсберга 5
V. От телеграфа к пакету 6
VI. Малый мир и безмасштабность 7
VII. Русская линия 8
VIII. Чем сеть не является 9

Часть вторая. Устройство

IX. Узел, связь, степень 11
X. Путь, расстояние, поперечник 12
XI. Плотность и сгустки 13
XII. Мосты и слабые связи 14
XIII. Кто в сети главный 15
XIV. Сообщества и их разбор 16
XV. Виды сетей 17
XVI. Как сети складываются сами 18

Часть третья. Что по ним течёт

XVII. Поток и вместимость 20
XVIII. Пакет: отчего режут на куски 21
XIX. Маршрут: как находят путь 22
XX. Задержка, очередь, потеря 23
XXI. Слои и почему они разделены 24
XXII. Адрес и имя 25
XXIII. Затор и управление им 26
XXIV. Что расходится по сети само 27

ЧАСТЬ ЧЕТВЁРТАЯ. ЖИВУЧЕСТЬ И ВЛАСТЬ

XXV. Отказ узла 29
XXVI. Каскадное падение 30
XXVII. Запас путей 31
XXVIII. Средоточие и распределённость 32
XXIX. Кто видит поток 33
XXX. Отчего сети слипаются в одну 34
XXXI. Кто назначает правила 35
XXXII. Сеть как рынок и как власть 36

ЧАСТЬ ПЯТАЯ. ГРАНИЦА

XXXIII. Чего сетевой разбор не может 38
XXXIV. Обманчивые картинки 39
XXXV. Мнимые законы сетей 40
XXXVI. Своя сеть: число знакомых 41
XXXVII. Гигиена своей сети 42
XXXVIII. Правила строящего 43
XXXIX. Правила живущего в сети 44
XL. Заключение: связи и мера 45



ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

❖

ОСНОВАНИЯ

Откуда пошёл разбор связей, как из задачи о мостах
выросла целая наука
и отчего сети всюду устроены схоже

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Что такое сеть

❊

Сетью зовётся множество *узлов*, соединённых *связями*, по которым нечто течёт: вещество, сведение, деньги, влияние, зараза.

Определение это нарочно скудно, и в скудости его сила. Узлом может быть город, вычислитель, человек, слово, ген, станция; связью — дорога, провод, знакомство, ссылка, поставка. Устройство связей описывается одинаково — и оттого сказанное об одной сети переносится на другую.

Книга эта есть продолжение книги о кибернетике. Там речь шла о *круге управления*: мера, измеритель, сравнение, регулятор. Здесь — о том, *по чему всё это ходит*: об устройстве путей, по которым идут донесения и распоряжения.

Различим три взгляда на сеть, и все три понадобятся. **Строение** — кто с кем соединён. **Поток** — что и как по этому строению течёт. **Живучесть** — что будет, когда часть откажет.

Оттого части книги таковы: вторая — строение; третья — поток; четвёртая — живучесть и власть над потоком; пятая — границы разбора и правила для строящего и живущего.

ГЛАВА ВТОРАЯ

Слово и его происхождение

*

Русское «сеть» есть слово рыбачье: плетение из нитей с узлами. Образ точен — узлы и связи, — и оттого прижился повсеместно.

Учёное имя у этого предмета иное: *граф* — от греческого «пишу», через немецкое употребление в математике. Граф есть отвлечённая сеть: только узлы (вершины) и связи (рёбра), без всякого вещества.

Различим слова. *Граф* — отвлечённое строение. *Сеть* — граф вместе с тем, что по нему течёт, и с его назначением. *Топология* в обиходе связистов — рисунок соединений: звезда, кольцо, шина.

Виды связей. Связь бывает *направленной* — я читаю его, он меня нет; и *ненаправленной* — мы соседи. Бывает с *весом*: расстояние, время, стоимость, крепость знакомства.

Заметим наперёд, что путаница слов здесь обычна: «сетью» в обиходе зовут и всемирную связь вычислителей, и знакомства человека, и промысловую снасть. В этой книге *сеть* означает устройство связей, каково бы ни было вещество.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

Три основания

*

Всё дальнейшее стоит на трёх положениях, и они же объясняют, отчего эта наука приложима всюду.

Первое: важна не вещь, а связь. Свойства сети определяются тем, кто с кем соединён, а не тем, из чего сделаны узлы. Оттого рассуждение, добытое на дорогах, годится для проводов и для знакомств.

Второе: целое ведёт себя не как части. У сети есть свойства, которых нет ни у одного узла: расстояние между дальними, устойчивость к отказам, скорость распространения. Их нельзя вывести, глядя на узел; их видно лишь сверху.

Третье: сеть живёт потоком. Строение само по себе мертво; оно обнаруживается лишь тогда, когда по связям что-то идёт. Оттого всякий разбор начинают с вопроса: *что здесь течёт и куда*.

Из трёх положений выводится и польза, и опасность разбора. Польза: одна наука для многих предметов. Опасность: соблазн переносить выводы туда, где вещество решает больше устройства, о чём глава тридцать третья.

И заметим связь с прежней книгой: *сеть есть тело, по которому ходит кровь управления*. Круг обратной связи не работает, если донесение не дошло или пришло поздно.

ГЛАВА ЧЕТВЁРТАЯ

Эйлер и мосты Кёнигсберга

*

Наука эта началась с городской забавы, и начало известно с точностью до года.

Задача. В Кёнигсберге через реку было семь мостов, соединявших два берега и два острова. Горожане спорили: можно ли обойти город так, чтобы пройти по всякому мосту ровно однажды.

Что сделал Эйлер в 1736 году. Он отбросил всё, кроме связей: расстояния, длину мостов, вид улиц. Осталось четыре части суши и семь соединений — то есть *граф*. И доказал, что обход невозможен.

Доказательство просто и красиво. Всякий раз, входя в часть суши и выходя, мы тратим два моста. Стало быть, у всякой части, кроме начальной и конечной, число мостов должно быть чётным. В Кёнигсберге же нечётное число мостов было у всех четырёх частей — обход невозможен.

Чем это важно. Не ответом, а *приёмом*: Эйлер показал, что задача решается отвлечением от вещества. Это и есть первое основание из главы третьей, применённое впервые.

Из этой заметки выросла теория графов, а из неё — всё, что изложено далее: расчёт дорог, связи, расписаний, поиска пути и разбора знакомств.

ГЛАВА ПЯТАЯ

От телеграфа к пакету

*

Сети связи прошли три устройства, и различие их существенно доныне.

Первое: телеграф и почта. Сообщение шло от станции к станции, где его принимали, записывали и передавали дальше. Устройство это зовут «сохрани и передай»; оно медленно и устойчиво.

Второе: телефонная сеть. На время разговора между двумя точками *устанавливалась цепь* — занятая целиком, даже когда собеседники молчали. Устройство дорогое и надёжное; и хрупкое: перебей цепь — разговор оборван.

Третье: пакетная связь. Сообщение режется на куски, всякий кусок снабжается адресом и идёт своим путём; на месте они собираются вновь. Мысль эта явилась в шестидесятые годы у Пола Бэрана в Америке и у Дональда Дэвиса в Англии, независимо друг от друга.

Отчего так устроили. Бэран искал сети, которая уцелеет при разрушении части узлов: если цепь не устанавливается заранее, то и рвать нечего — куски пойдут в обход.

С этого и началась нынешняя связь. Устройство её — предмет третьей части; здесь довольно запомнить: *дробление сообщения есть плата за живучесть*.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

Малый мир и безмасштабность

*

Два наблюдения конца двадцатого века переменили разбор сетей и вошли в общий обиход — отчасти в искажённом виде.

Малый мир. Стэнли Милгрэм в шестидесятые годы просил людей в глубинке доставить письмо незнакомому человеку в другом штате — через знакомых. Дошедшие письма прошли в среднем около шести рук. Отсюда пошло присловье о шести рукопожатиях.

Уоттс и Строгац в 1998 году показали устройство такого мира: довольно взять решётку, где все знают соседей, и *переставить малую долю связей наудачу* — расстояние между дальними резко падает, а сгустки сохраняются.

Безмасштабность. Барабаши и Альберт в 1999 году заметили, что во многих сетях узлы неравны: немногие имеют огромное число связей, большинство — ничтожное. Растёт такая сеть по правилу: *новый узел присоединяется охотнее к тому, у кого связей уже много*.

Чем это важно. Отсюда следуют живучесть и хрупкость разом: такая сеть переносит случайные отказы и рушится при ударе по немногим главным узлам, о чём глава двадцать пятая.

И оговорка. Оба наблюдения были поспешно объявлены всеобщими законами. Позднейшие проверки умерили пыл; об этом — глава тридцать пятая.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

Русская линия

*

У нас предмет этот разрабатывался с двух сторон: математической и хозяйственной.

Математика. Русская школа дала многое в теории вероятностей и в случайных процессах — в том числе цепи Маркова, коими описывается блуждание по сети; на них же стоит и нынешний расчёт важности узлов.

Хозяйство. Замысел общегосударственной сети счёта и управления — ОГАС Виктора Глушкова — был по существу сетевым: связать предприятия в единый круг с правдивым и скорым донесением. О судьбе его сказано в книге о кибернетике.

Связь. Единая сеть связи страны строилась как иерархия узлов: местные, зоновые, магистральные. Устройство это — дерево с немногими кольцами — надёжно при исправном средоточии и уязвимо при его потере.

Урок, общий для обеих линий и повторяющий сказанное в книге о кибернетике: *узкое место сети — не провода, а правдивость и скорость донесения*. Ложное сведение, дошедшее вовремя, хуже отсутствия всякого.

И заметим особенность нашего пути: у нас сети строились сверху, как единое хозяйство; на западе они срастались снизу из частных. Различие это объясняет многое в их нынешнем устройстве.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

Чем сеть не является

*

Отсечём лишнее, ибо слово это ныне употребляют вместо всякого объяснения.

Сеть не есть объяснение. Сказать «это сетевое явление» значит назвать предмет, а не понять его. Разбор начинается после того, как указано, *что за узлы, что за связи и что течёт*.

Она не есть непременно благо. Связность разносит и помощь, и заразу, и панику. Сеть безразлична к тому, что по ней идёт.

Она не есть только вычислители. Дороги, водопровод, поставки, родство, ссылки в книгах — всё это сети, и старше проводов.

Она не отменяет вещества. Устройство связей объясняет многое и не всё: у больного человека и у больной машины причины разные, хотя бы графы совпадали.

И она не бывает без хозяина. «Сеть без средоточия» есть техническое устройство, а не общественное: адреса, имена и правила всегда кем-то назначаются, о чём глава тридцать первая.

Что же она есть? *Способ смотреть на дело как на узлы и связи — и считать то, что из этого следует*: расстояния, потоки, узкие места и последствия отказов.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

❖

УСТРОЙСТВО

Узел и связь, путь и расстояние, сгустки и мосты;
кто в сети главный, какие бывают виды сетей
и отчего они складываются сами собою

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

Узел, связь, степень

*

Начнём с самого малого; на этих трёх словах держится весь дальнейший счёт.

Узел — то, что соединяется. **Связь** — соединение двух узлов. **Степень** узла — число его связей: у станции — число путей, у человека — число знакомых.



УЗЛЫ, СВЯЗИ И СТЕПЕНЬ

Отчего степень важна. Она первое, что считают: по ней видно, кто в сети окраина, а кто перекрёсток. Распределение степеней — сколько узлов имеет одну связь, сколько десять, сколько тысячу — говорит об устройстве всей сети более прочего.

Направление. В направленной сети различают степень входящую и исходящую: у кого много читателей и кого читает он сам. Смешение этих двух — частая ошибка при разборе.

Вес. Связь может нести величину: пропускную способность, длину, крепость знакомства. Считать сеть без весов проще, но и грубее.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

Путь, расстояние, поперечник

*

Всё, что течёт по сети, идёт *путями*; оттого второй предмет счёта — расстояния.

Путь — последовательность связей от узла к узлу. **Расстояние** между двумя узлами — длина кратчайшего пути. **Поперечник** сети — наибольшее из таких расстояний: сколько шагов от самой дальней окраины до другой.

Среднее расстояние говорит о том, скоро ли расходится по сети сведение или зараза. Именно оно поразительно мало в больших сетях — отсюда и «малый мир» из главы шестой.

Связность. Сеть может распадаться на части, между которыми пути нет вовсе. Тогда говорят о нескольких *компонентах*; и вопрос «есть ли путь» предшествует вопросу «сколь он длинен».

Отчего это считают. В связи — чтобы знать задержку; в поставках — чтобы знать плечо; в знакомствах — чтобы знать, через сколько рук дойдёт просьба; в заразе — чтобы знать, сколько дней до всеобщего охвата.

И правило, знакомое по книге о кибернетике: *всякая лишняя пересадка прибавляет и задержку, и искажение*. Короткий путь дороже широкого.

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

Плотность и сгустки

*

Третий предмет счёта — насколько густо соединены узлы между собою.

Плотность — отношение имеющихся связей к возможным. В малой ватаге она велика: все знают всех. В большом городе — ничтожна.

Сгусток, или кластеризация, — мера того, знакомы *ли* между собою соседи одного узла. У *людей* она высока: друзья моих друзей чаще всего знакомы и друг с другом. У случайной сети — мала.

Треугольник есть простейшая её мера: если А связан с Б и с В, то есть *ли* связь между Б и В. Замкнутые треугольники — признак живой, крепкой среды.

Отчего это важно. Сгустки держат: в них сведение подтверждается многократно, а связь надёжна. И они же *запирают*: внутри сгустка всё уже известно, а новое приходит извне — о чём глава следующая.

И для строящего: сеть из одних сгустков без связей между ними распадается на удельные княжества — беда, знакомая всякому большому учреждению.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ

Мосты и слабые связи

*

Здесь одно из самых полезных наблюдений всей науки, и сделано оно не на проводах, а на *людях*.

Марк Грановеттер в 1973 году напечатал работу «Сила слабых связей». Он опрашивал *людей*, недавно нашедших работу, и обнаружил: чаще помогали не близкие друзья, а *дальние знакомые*.

Объяснение просто. Близкие вращаются в том же кругу и знают то же, что и вы. Дальний знакомый принадлежит иному сгустку — и потому знает *другое*. Новое приходит через слабые связи.

Мост — связь, соединяющая два сгустка; убери её — и расстояние между частями резко вырастет. Мостов в сетях немного, и держатся они обыкновенно на одном-двух *людях* или узлах.

Отсюда правила. *Для* человека: *береги дальние знакомства* — они дают то, чего не даст ближний круг. *Для* строящего сеть: *мосты закладывают нарочно*, ибо сами собою они возникают редко.

И предостережение о хрупкости: *мост есть узкое место*. Единственная связь между частями рвётся первой — о чём часть четвёртая.

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ

Кто в сети главный

*

Вопрос о важности узла имеет несколько ответов, и путать их не следует: важны они по-разному.

По числу связей. Главный тот, у кого их больше. Мера грубая: множество знакомых не есть влияние.

По близости. Главный тот, от кого до всех прочих ближе всего. Такой узел скорее всех получает и разносит сведение.

По посредничеству. Главный тот, через кого проходит наибольшее число кратчайших путей. Такой узел может быть скромен по числу связей — и держать в руках сообщение между частями. Это и есть *привратник*; потеря его рвёт сеть.

По весу соседей. Важен тот, на кого ссылаются важные. Мера эта считается по кругу — и на ней устроен расчёт значимости страниц в поиске.

Что из этого следует. Прежде чем спрашивать «кто главный», надо спросить *«главный для чего»*: для скорости оповещения, для устойчивости, для влияния. Ответы будут разные, и это не изъян счёта, а свойство сети.

И правило разбора: *ищи привратников*. Они не заметны по виду и решают судьбу сети при отказе, о чём глава двадцать пятая.

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ

Сообщества и их разбор

*

Всякая большая сеть делится на части, внутри которых связей густо, а между которыми редко. Части эти зовут сообществами.

Как их находят. Ищут разбиение, при котором связей внутри частей много, а между частями мало; либо последовательно удаляют связи с наибольшим посредничеством — те самые мосты, — и сеть распадается по естественным швам.

Что при этом видно. Отделы в учреждении, не совпадающие со штатным расписанием; круги знакомств; научные школы; товарные рынки; согласные между собою собрания в общественной жизни.

Осторожность. Разбиение почти всегда получается — даже там, где сообществ нет: способ ищет и находит. Оттого прежде вывода проверяют, не то же ли самое выйдет на случайной сети такого же размера.

Что это объясняет. Отчего сведение расходится внутри круга мгновенно и застревает на границе; отчего люди в разных сообществах видят разный мир — о чём в книге о внимании, в главе о рассеянной толпе.

И правило для строящего: *границы сообществ важнее их середин*. Кто хочет, чтобы дошло, работает с мостами, а не с центрами.

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ

Виды сетей

*

Устройств немного, и всякое имеет свою цену; перечислим главные.

Цепь. Узлы соединены в линию. Дёшево; путь длинен; разрыв в середине делит сеть надвое.

Звезда. Все соединены со средоточием. Путь короток — два шага до любого; средоточие есть и хозяин, и уязвимость: с его отказом сеть исчезает.

Кольцо. Каждый соединён с двумя соседями. Есть запасной путь в обход; при двух разрывах распадается.

Дерево. Иерархия: средоточие, узлы, окраины. Устройство хозяйственное и обозримое; всякий узел — узкое место для своей ветви.

Решётка. Соединены соседи по сторонам: города, водопровод. Расстояния велики, живучесть хороша.

Полносвязная. Все со всеми. Надёжнее всего и дороже всего: число связей растёт как квадрат числа узлов, и потому годится лишь для малых собраний.

Ячеистая — смесь: сгустки, соединённые немногими мостами. Так устроены почти все живые сети, о чём главы одиннадцатая и двенадцатая.

ГЛАВА ШЕСТНАДЦАТАЯ

Как сети складываются сами

*

Большинство сетей никто не чертил: они выросли. И рост их идёт по немногим правилам.

Правило предпочтительного присоединения. Новый узел охотнее связывается с тем, у кого связей уже много: к оживлённой станции ведут новые дороги, на читаемого ссылаются охотнее. Отсюда неравенство: *богатый связями богатеет*.

Правило близости. Связываются охотнее с тем, кто рядом — в пространстве, в ремесле, в языке. Отсюда сгустки.

Правило замыкания треугольника. Двое, имеющие общего знакомого, вероятнее познакомятся. Отсюда высокая кластеризация в людских сетях.

Что получается из этих трёх. Сеть со сгустками, немногими мостами и малым числом весьма крупных узлов — то самое устройство, что описано в главе шестой.

И следствие, важное для четвёртой части: такое устройство *складывается само*, без умысла, — и потому неравенство узлов не есть чей-то заговор. Но и последствия его настоящие: власть немногих узлов над потоком, о чём глава тридцать вторая.

Заметим то же, что сказано в книге о кибернетике о самоустроении: *порядок, возникший сам, не обязан быть желанным*. Кто хочет иного — меняет правила роста, а не отдельные связи.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

❖

ЧТО ПО НИМ ТЕЧЁТ

Поток и вместимость, пакет и маршрут,
задержка и очередь, слои и адреса —
и то, что расходится по сети само собою

ГЛАВА СЕМНАДЦАТАЯ

Поток и вместимость

*

Строение сети мертво, покуда по ней ничто не идёт. Поток же ограничен вместимостью связей, и здесь начинается счёт.

Вместимость связи — сколько она пропускает в единицу времени: машин по дороге, слов по проводу, товара по договору. Об этом сказано в книге о кибернетике, в главе о канале.

Узкое место. Поток по цепи связей определяется *наименьшей* из вместимостей. Расширять прочие бесполезно, покуда узкое место не расширено: правило старое и постоянно нарушаемое.

Наибольший поток и наименьший разрез. Замечательное правило, доказанное в середине века: *наибольший поток от начала до конца равен наименьшей сумме вместимостей связей, разрезав которые, мы разделим сеть надвое*.

Иначе говоря, чтобы узнать, сколько сеть пропустит, довольно найти самое дешёвое место, где её можно перерезать. Из этого правила выросли расчёты перевозок, снабжения и распределения работ.

И для строящего: усиливать надлежит *самое узкое* место, а не самое удобное к усилению. То же правило, что и в книге о кибернетике, приложенное к путям.

ГЛАВА ВОСЕМНАДЦАТАЯ

Пакет: отчего режут на куски

*

Главная мысль нынешней связи: сообщение не идёт целиком — оно режется на куски, и всякий кусок странствует сам.

Что такое пакет. Кусок сообщения с заголовком: откуда, куда, какой по счёту и как проверить целость. Прочее устройство сети имеет дело с пакетом, а не с сообщением.

Отчего так лучше. Три причины. *Живучесть*: путь не занят заранее, и куски идут в обход повреждённого. *Совместное пользование*: одна связь несёт куски многих собеседников вперемежку, и она не простаивает, покуда один молчит. *Дешевизна*: не надо держать цепь на всё время разговора.

Чем платится. Порядок кусков нарушается, и на месте их приходится собирать. Часть кусков теряется, и потерянное надо запрашивать заново. Задержка делается неровной — для голоса это хуже, чем для письма.

Отсюда деление задач. Для письма и файлов важна *целость*: потерянное досылается. Для голоса и живой картины важна *ровность*: лучше потерять кусок, чем ждать его.

Оттого в сети живут два порядка обращения разом — надёжный и скорый, — и выбор между ними делает не сеть, а тот, кто её употребляет.

ГЛАВА ДЕВЯТНАДЦАТАЯ

Маршрут: как находят путь

*

Пакет с адресом попадает в узел — и узел должен решить, куда его отправить дальше. Решение это зовётся маршрутизацией.

Первое устройство: таблица. Всякий узел держит перечень: для такого-то направления — такой-то сосед. Пакет читается, направление отыскивается, пакет уходит. Ни один узел не знает всей сети — и не должен.

Как таблицы складываются. Двумя способами. *По слухам от соседей*: всякий сообщает соседям, до чего у него сколько шагов; расстояния расходятся по сети. *По общему знанию строения*: узлы обмениваются сведениями о своих связях, всякий строит у себя карту и считает кратчайшие пути.

Кратчайший путь считается приёмом Дейкстры, изложенным в 1959 году: он находит ближайшее, что ещё не пройдено, и так расширяет круг известного, покуда не дойдёт до цели.

Осторожность. Устройство «по слухам» страдает медленным распространением дурных вестей: об отказе узнают позже, чем о появлении, и в сети заводятся круги, по которым пакет ходит, не доходя.

И общее наблюдение, годное вне связи: *решение принимается на месте, из немногих сведений*. Сеть работает не потому, что кто-то знает всё, а потому, что всякий знает достаточно для одного шага.

ГЛАВА ДВАДЦАТАЯ

Задержка, очередь, потеря

*

Всякое сообщение приходит позже, чем послано; составные части этой задержки полезно различать.

Из чего складывается задержка. Время передачи — сколько уходит на вытолкнуть пакет в связь. Время распространения — сколько сигнал идёт по расстоянию; его не сократить ничем, кроме укорочения пути. Время обработки в узле. И — наибольшее — время *ожидания в очереди*.

Очередь. Узел, получающий больше, чем может отправить, копит пакеты в памяти. Покуда приток меньше пропускной способности, очередь мала; едва он к ней приблизился — очередь растёт быстро и неудержимо.

Это общее свойство всякого обслуживания: *вблизи полной загрузки время ожидания растёт стремительно*. Оттого сети, дороги и учреждения нарочно держат запас: работать «на полную» значит стоять в очереди.

Потеря. Когда память узла заполнена, лишнее отбрасывается. Потеря есть не поломка, а *способ сообщить отправителю*, что он шлёт слишком быстро, о чём глава двадцать третья.

Разброс задержки — главная беда для голоса: важна не столько величина, сколько ровность. Оттого приёмник копит малый запас и выдаёт с задержкою, но ровно.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ

Слои и почему они разделены

*

Устройство связи разделено на слои, и разделение это — лучшее решение во всём деле.

Что за слои. Внизу — вещество: провод, свет, радио. Над ним — передача между соседями. Над нею — доставка через всю сеть по адресу. Далее — порядок разговора двух концов: восстановление потерянного, порядок кусков. Наверху — сама работа: письмо, страница, разговор.

Правило слоёв. Всякий слой пользуется нижним и не знает, как тот устроен; и предоставляет верхнему простую службу. Меняй вещество — провод на радио — и верхние слои не заметят.

Чем это ценно. Тем же, чем в книге об автоматах: *устройство, разбитое на слои, можно чинить и заменять по частям*. Без такого разделения всякая перемена требовала бы переделки всего.

Узкая талия. В нынешней сети множество веществ внизу и множество применений вверху — и один общий слой посредине, через который проходит всё. Это и сделало сеть всеобщей: договориться нужно об одном, а не обо всём.

И цена. Слои не знают друг о друге и потому иногда работают друг против друга: верхний повторяет то, что нижний уже повторил. Плата за простоту.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ВТОРАЯ

Адрес и имя

*

Чтобы дойти, пакету надобно знать, куда; и здесь сеть смыкается с книгою об имени.

Различие. *Адрес* говорит, *где* узел находится в сети, и потому меняется при переезде. *Имя* говорит, *кто* он, и переезда не замечает. Смешение их — частая причина недоразумений.

Перевод имени в адрес совершается особой службой — справочной книгой сети. Устроена она деревом: спрашивают у корня, тот указывает на ветвь, ветвь — на лист.

Отчего это важно. Кто держит справочную книгу, тот *решает, существует ли узел* для прочих. Убрать имя из книги проще, чем перерезать провод, и последствия те же. Об утрате имени сказано в отдельной книге.

Отчего адресов не хватает. Всякое пространство адресов конечно; в нынешней сети оно исчерпалось, и понадобилось иное, много большее. Переход этот тянется десятилетиями — пример того, как трудно менять то, о чём все договорились.

И правило разбора: спрашивая о сети, спроси *кто назначает имена и адреса*. Ответ на этот вопрос говорит о власти в ней больше, чем схема проводов.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬЯ

Затор и управление им

*

Худшее, что случается с сетью, — не отказ, а *затор*: все шлют, ничто не доходит, и попытки исправить дело делают его хуже.

Как это происходит. Приток превышает вместимость; растут очереди; пакеты теряются; отправители повторяют потерянное — и тем усиливают приток. Круг замыкается: *чем хуже, тем больше шлют*.

Это положительная обратная связь без узды, о которой сказано в книге о кибернетике; она и обрушила первые большие сети в восьмидесятые годы.

Как лечат. Отправитель следит за потерями и, заметив их, *сам сбавляет скорость*; убедившись, что доходит, понемногу прибавляет. Так в сеть введена отрицательная обратная связь — и держится она не на средоточии, а на согласии всех отправителей.

Отчего это работает. Оттого что потеря пакета есть *донесение*: сеть не объявляет о заторе, но её молчание красноречиво. Здесь весь круг управления собран из немногого, о чём в книге о кибернетике.

И правило, годное шире связи: *при заторе сбавляют, а не наддают*. Дорога, учреждение, работа человека — всюду попытка протолкнуть больше при переполнении даёт остановку.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ЧЕТВЁРТАЯ

Что расходится по сети само

*

По сети идут не только посланные сообщения; по ней *расходится* многое, чего никто не отправлял нарочно.

Зараза. Всякая сеть соприкосновений есть путь болезни. Скорость и охват зависят от степеней узлов и от сгустков: немногие узлы с огромным числом связей разносят её вернее прочих.

Слух и мнение. Расходятся по тем же законам, что и зараза, но с двумя отличиями: их *подтверждают* при повторении, а внутри сгустка они возвращаются к вам же — и кажутся оттого всеобщими. Об устройстве слуха сказано в книге о внушении.

Поведение и мода. Перенимаются при *многократном* подтверждении: для заразы довольно одного соприкосновения, для перемены поведения нужно несколько соседей. Оттого мода расходится медленнее слуха и держится дольше.

Отказ и паника — о них глава двадцать шестая.

Что из этого следует. Чтобы остановить распространение, работают не с узлами вообще, а с *крупнейшими узлами и мостами*: их прививают, их предупреждают, их изолируют первыми. Мера эта дешевле сплошной и действеннее.

И обратное: чтобы *распространить* нужное — помощь, оповещение, обучение, — работают там же. Сеть безразлична к тому, что по ней идёт.

ЧАСТЬ ЧЕТВЁРТАЯ

❖

ЖИВУЧЕСТЬ И ВЛАСТЬ

Что бывает при отказе узла, как падают сети целиком,
чем платят за средоточие
и кому достаётся власть над потоком

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ПЯТАЯ

Отказ узла

❋

Живучесть сети измеряется не тем, крепки ли узлы, а тем, что происходит, когда они отказывают.

Случайный отказ. Если узлы выбывают наудачу, сеть с немногими крупными узлами держится замечательно: вероятнее всего выбудет мелкий узел, каких большинство, и сеть того не заметит.

Направленный удар. Если же выбивают *крупнейшие* узлы, та же сеть рассыпается быстро: довольно немногих, чтобы расстояния выросли и части перестали сообщаться.

Свойство это — живучесть к случаю и хрупкость к умыслу — есть прямое следствие неравенства узлов, о коем глава шестнадцатая. Оно не изъян устройства: оно есть плата за то, что сеть сложилась сама.

Отказ связи. Опаснее всего потеря *моста*: он один соединяет части, и с ним сеть распадается. Оттого при разборе ищут не сильнейшие узлы, а *места, где сеть разрезается дешевле всего*.

Что делают. Умножают связи у важных узлов; закладывают запасные мосты; разносят важное по разным путям, чтобы одно повреждение не задело двух.

И правило из книги о кибернетике, приложенное здесь: *надёжность даёт не число, а разнородность*. Два пути через один и тот же мост суть один путь.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ШЕСТАЯ

Каскадное падение

*

Худшие происшествия в сетях устроены одинаково: отказ одного узла перекладывает его ношу на соседей, соседи не выдерживают — и падение идёт волною.

Образец — большие обрушения энергосетей. Отключается линия; ток идёт в обход; обходные перегружаются и отключаются защитой; нагрузка перекладывается дальше. За минуты без света остаются области с десятками миллионов жителей.

То же в прочем. Отказ хранилища сведений роняет службы, которые на него опирались; неплатёж одного участника рынка рушит тех, кто на него рассчитывал; закрытие одной переправы обрушивает поставки.

Отчего это трудно предвидеть. Оттого что связи не видны заранее: узлы, считавшиеся независимыми, оказываются опёртыми на одно и то же — на одну сеть питания, на одного поставщика, на один справочник имён.

Что помогает. Запас по нагрузке; *разрывы* — способность отсечь часть, чтобы не потянула прочих; и правило безопасного состояния при отказе из книги об автоматах.

И правило разбора, которое стоит целой главы: *ищи общие опоры*. Два пути, две службы, два поставщика, опирающиеся на одно, суть один — и падают вместе.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ СЕДЬМАЯ

Запас путей

*

Живучесть покупается *избытком*, и избыток этот должен быть устроен, а не просто велик.

Два пути вместо одного. Правило простое: всякая важная связь должна иметь обход. Проверяется оно не по схеме, а вопросом: *по каким проводам и через какие здания идут оба пути*. Нередко оказывается, что оба лежат в одной канаве.

Разнородность. Обход должен отличаться природою: провод и радио, свой узел и чужой, две разные службы. Одинаковые обходы отказывают от одной причины.

Запас нагрузки. Держать связи заполненными на треть-половину, а не под завязку: иначе всякий переток при отказе даёт затор, о чём глава двадцатая.

Цена. Избыток стоит денег и кажется расточительством, покуда всё исправно. Оттого его сокращают первым — и оттого же большие падения случаются после успешной поры бережливости.

Проверка. Запас, не испытанный, есть предположение. Оттого разумные хозяева *нарочно отключают* части сети в назначенный час, дабы убедиться, что обход работает. Устройство, ни разу не проверенное отключением, обыкновенно не работает.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ВОСЬМАЯ

Средоточие и распределённость

*

Всякая сеть располагается между двумя крайностями, и выбор между ними есть выбор не только технический.

Средоточие — звезда из главы пятнадцатой. Достоинства: просто, дёшево, легко управлять и наводить порядок; путь короток. Недостатки: отказ средоточия губит всё; хозяин средоточия видит всё и решает всё.

Распределённость — ячеистая сеть без хозяина. Достоинства: живучесть, отсутствие единой точки власти. Недостатки: дороже, медленнее, труднее в согласовании; и правила приходится соблюдать добровольно.

Смешанное устройство — то, что вышло на деле: сеть без средоточия по замыслу и с немногими крупными узлами по факту, ибо так она выросла.

Отчего распределённое стягивается к средоточию. Три причины: дешевизна большого; удобство пользователя; и сетевые действия, о коих глава тридцатая. Оттого сеть, задуманная как равноправная, через поколение оказывается с немногими хозяевами.

Что из этого следует для строящего: *распределённость не сохраняется сама*. Её надо поддерживать нарочно — правилами, переносимостью имён, возможностью уйти со своим добром.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ДЕВЯТАЯ

Кто видит поток

*

Всякий узел на пути видит проходящее — и это свойство устройства, а не злоупотребление.

Что видно посреднику. Даже при закрытом содержании ему видны *метаданные*: кто с кем, когда, как долго, сколько. О том, что этого довольно для многого, сказано в книге о тайнописи.

Кто эти посредники. Хозяин связи; хозяин узла, где сходятся пути; держатель справочной книги имён; владелец службы, через которую идёт разговор.

Отчего это неизбежно. Пакету нужен адрес, иначе он не дойдёт; адрес читается всяким узлом по дороге. Скрыть содержание можно; скрыть *наличие сообщения* — много труднее.

Что уменьшает видимость. Оконечное шифрование — закрывает содержание. Посредники и слоистая пересылка — разрывают связь между отправителем и получателем, ценою скорости. Подмешивание пустого потока — ценою вместимости.

И правило для строящего сеть: *всякий узел, через который проходит всё, есть власть — хочет он того или нет*. Устройство, где такой узел один, рано или поздно будет использовано как власть.

ГЛАВА ТРИДЦАТАЯ

Отчего сети слипаются в одну

*

Наблюдение, объясняющее хозяйство наших дней: сети склонны сходиться к немногим крупным, и происходит это без всякого сговора.

Сетевое действие. Польза от сети растёт с числом участников: телефон при одном владельце бесполезен, при миллионе — необходим. Оттого всякий новый участник идёт туда, где уже многие, — и тем усиливает перевес.

Это то же предпочтительное присоединение из главы шестнадцатой, обращённое в хозяйственную силу: *у кого больше, к тому и прибывает*.

Что удерживает. Издержки перехода: потерянные связи, переписка, привычка, невозможность унести с собою имя и накопленное. Чем они выше, тем прочнее держит сеть — и тем меньше свободы у участника.

Что размыкает. *Переносимость*: возможность взять своё имя и связи и уйти. *Сообщаемость*: возможность из одной сети говорить с другою — так устроены телефон и почта, но не большинство нынешних служб.

Отсюда правило для выбирающего сеть: спроси не «сколько там людей», а *«что я смогу унести, уходя»*. Ответ на этот вопрос и есть мера вашей свободы в ней.

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ ПЕРВАЯ

Кто назначает правила

*

Сеть без правил не работает: чтобы узлы понимали друг друга, нужно согласие о том, как говорить. Согласие это кто-то устанавливает.

Правила связи — уговоры о том, как устроен пакет, как ищется путь, как ведётся разговор. Складывались они открыто: предложение печаталось, обсуждалось и принималось, если работало у двух независимых устроителей.

Правило это — *«грубое согласие и работающий образец»* — определило устройство нынешней связи не менее, чем всякая техническая находка.

Имена и адреса раздаются учреждениями, о чём глава двадцать вторая. Здесь власть плотнее: имя можно отнять.

Правила поведения в службах устанавливает их владелец — и это иная власть, чем техническая: она решает, что видно, что первым и что удаляется.

Отчего это важно знать. Оттого что спор о сетях почти всегда есть спор об одном: *кто назначает правила и кому он подотчётен*. Провода и вместимость к этому спору отношения не имеют.

И правило разбора, годное всякому: *отличай устройство от уговора*. Многое, кажущееся природою сети, есть чьё-то решение, принятое в своё время и заменимое.

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ ВТОРАЯ

Сеть как рынок и как власть

*

Соберём хозяйственную сторону: отчего сети приносят власть тем, кто их держит.

Первое: посредничество. Кто стоит между многими, тот берёт долю со всякого прохода. Мера эта — посредничество из главы тринадцатой — есть прямая мера дохода.

Второе: назначение видимости. Владелец решает, что показать первым; а показанное первым и существует для большинства. Здесь сеть смыкается с книгою о внимании: *распоряжаться порядком показа значит распоряжаться вниманием*.

Третье: сведения. Метаданные потока стоят дорого сами по себе, о чём глава двадцать девятая.

Четвёртое: издержки ухода. Чем труднее унести своё, тем свободнее хозяин в обращении с участником.

Что этому противостоит. Открытые уговоры; переносимость имён и накопленного; обязанность сообщаться с другими сетями; разделение того, кто держит трубу, и того, кто торгует по ней.

И честное замечание: *ни одно из этих средств не действует само собою*. Сеть, предоставленная себе, стягивается к немногим — по закону главы тридцатой, а не по чьей-то злой воле.

ЧАСТЬ ПЯТАЯ

❖

ГРАНИЦА

Чего сетевой разбор не может, отчего красивые картинки обманывают,
что из громких законов подтвердилось
и как обходиться со своею собственной сетью

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ ТРЕТЬЯ

Чего сетевой разбор не может

*

Соберём пределы, ибо соблазн объяснять сетью решительно всё велик и в наши дни распространён.

Он не заменяет знания предмета. Граф поставок и граф знакомств выглядят одинаково; выводы же о них верны лишь тому, кто знает поставки и знает людей.

Он не устанавливает причины. Связь в сети означает соседство, а не влияние: то, что двое связаны и оба заболели, не говорит, кто кого заразил и не заразились ли оба от третьего.

Он зависит от того, где провели границу. Что считать узлом, какие связи учесть, за какой срок — всё это решает исследователь, и от решения меняется итог. Об этом же — в книге о кибернетике, в главе о границе системы.

Он плохо переносит неполноту. Сеть, восстановленная по части сведений, даёт иные меры важности: пропущенный мост меняет всю картину.

И он ничего не говорит о должном. Из того, что узел важен, не следует, что ему надлежит быть важным; из того, что сеть стягивается к немногим, не следует, что так и надо.

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ ЧЕТВЁРТАЯ

Обманчивые картинки

*

Изображение сети — сильное средство убеждения и потому опасное: оно кажется свидетельством, будучи рисунком.

Расположение узлов произвольно. Способ раскладки выбирает рисующий; тот же граф можно уложить и клубком, и звездой, и цепью. Близость на картинке *не означает близости в сети*.

Густота обманывает. Большая сеть на листе превращается в «волосяной ком», где видна лишь плотность чернил. Из такого изображения не следует ничего, кроме того, что связей много.

Отбор скрыт. Обыкновенно рисуют не всё: отбрасывают слабые связи, малые узлы, редкие случаи. Порог отбора решает вид картинки целиком — и почти никогда не указывается.

Что спрашивать, глядя на такой рисунок. Что здесь узел и что связь; за какой срок; какие связи отброшены и по какому порогу; чем задано расположение; и что было бы видно на случайной сети такого же размера.

И правило, общее с книгой об ошибках рассуждения: *красивая картинка не есть довод*. Числа под нею — расстояния, степени, доли — говорят больше, чем сам рисунок.

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ ПЯТАЯ

Мнимые законы сетей

*

Наука о сетях молода и оттого богата громкими утверждениями; разберём главные.

Шесть рукопожатий. Опыт Милгрэма дошёл малою долей писем — большинство не дошло вовсе; и выборка была неслучайной. Что расстояния в людских сетях малы — верно; что их ровно шесть — присказка.

Безмасштабность как всеобщий закон. Утверждение, что распределение степеней всюду подчиняется одному правилу, при строгой проверке множества сетей не подтвердилось: такое устройство встречается, но не повсеместно.

Сила слабых связей держится лучше прочих: наблюдение подтверждено и на больших современных данных — впрочем, с оговорками о том, какая именно слабость полезна.

Правило о стоимости сети, растущей как квадрат числа участников, есть *прикидка*, а не закон: оно не проверено и служит скорее для убеждения вкладчиков.

Общая беда этой области: красивое правило разлетается по пересказам быстрее, чем поправки к нему. Здесь работает то, о чём сказано в книге о внушении: *простое и повторённое принимается за доказанное*.

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ ШЕСТАЯ

Своя сеть: число знакомых

*

Всякий человек есть узел, и полезно знать, чем ограничена его собственная сеть.

Число Данбара. Робин Данбар, сопоставив величину мозга приматов с размером их стад, предположил предел устойчивых связей у человека — около полутора сотен. Число это разошлось широко, а позднейшие проверки его оспаривают: разброс велик, а способ подсчёта спорен.

Что твёрже. Не само число, а *устройство кругов*: несколько ближайших, десяток близких, полсотни приятелей, полторы-две сотни знакомых, далее — узнаваемые лица. Всякий круг вчетверо шире предыдущего.

Чем это ограничено. Не памятью, а *временем*: связь держится общением, а времени конечное количество. Отсюда прямое следствие: *новая близкая связь всегда за счёт прежней*.

Что даёт сеть человеку. Ближний круг — поддержку; дальние знакомые — новое: работу, сведения, случай, о чём глава двенадцатая.

Оттого разумное устройство своей сети таково: *немногих держать близко и многих не терять вовсе*. Второе стоит дёшево — одно письмо в год, — и окупается через годы.

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ СЕДЬМАЯ

Гигиена своей сети

*

Всё, сказанное о больших сетях, приложимо и к малой — к той, в которой живёт человек.

Помни, что ты узел. Через тебя идёт поток: вести, просьбы, слухи. Что ты передал дальше — то и распространилось; об ответственности за пересказ сказано в книге о внушении.

Береги мосты. Знакомство, соединяющее тебя с иным кругом, ценнее десятка внутри своего. Оно же требует ухода: мосты рвутся молча.

Не будь единственным путём. Если через тебя одного идут все дела твоей семьи или отдела — ты узкое место и точка отказа. Раздели, пока здоров.

Считай, чему ты открыт. Число источников, на которые подписан, есть приток; вместимость твоего внимания конечна, о чём отдельная книга. Отпишись от лишнего — это работа с сетью, а не с волей.

Спроси, что унесёшь. Прежде чем строить жизнь в чужой службе, узнай, что сможешь забрать: имя, переписку, связи. Об этом — глава тридцатая.

И знай своих привратников. Кто держит твои имена, письма и деньги; что будет, если он откажет; есть ли обход. Ответ обыкновенно неприятен и потому полезен.

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ ВОСЬМАЯ

Правила строящего

*

Соберём правила для того, кто устраивает сеть — связи, поставки, отдел, общину.

> Считай не узлы, а разрезы:
> сеть держится тем,
> во скольких местах её надо перерезать.

Расширяй узкое место, а не удобное; поток определяется наименьшей вместимостью.

Закладывай мосты между сгустками: сами собою они возникают редко.

Устрой обход всякой важной связи — и убедись, что обход не лежит в той же канаве.

Держи запас нагрузки: работа под завязку означает очередь.

Дели на слои и не смешивай их: так сеть чинится по частям.

Предусмотри отсечение: способность отделить падающую часть, чтобы не потянула прочих.

Проверяй отключением. Непроверенный запас есть предположение.

И реши заранее, кто назначает имена и правила — иначе это решится само, и не в вашу пользу.

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ ДЕВЯТАЯ

Правила живущего в сети

*

И правила для того, кто в сети не строитель, а участник, — то есть для всякого.

Спрашивай, что течёт. Услышав «сетевое», спроси: какие узлы, какие связи и что по ним идёт. Без этого слово пусто.

Помни о посредниках. Всякий узел на пути видит по крайней мере, что ты говорил и с кем; содержание закрывается шифром, наличие — почти никогда.

Не верь охвату. То, что видно повсюду, видно потому, что прошло через крупные узлы, а не потому, что верно. Это то же, что сказано о толпе в книге о внушении.

Береги слабые связи и не суди о мире по своему сгустку: внутри него ваше мнение всегда кажется всеобщим.

Держи обход для важного: второй способ связи, второй список знакомых, запись вне службы.

И передавай с разбором. Пересланное тобою расходится дальше по тем же законам, что и зараза; узел, повторяющий всё подряд, есть источник затора — и в сети, и в жизни.

ГЛАВА СОРОКОВАЯ

Заключение: связи и мера

❋

Сведём книгу к тому немногому, что стоит держать в памяти без справок.

Сеть есть *узлы, связи и поток*. Свойства её определяются не веществом узлов, а тем, кто с кем соединён; и оттого одно рассуждение служит для дорог, проводов, поставок и знакомств.

Разбор её сводится к немногому: степень, расстояние, сгусток, мост, посредничество. Кто считает эти пять, тот видит и узкие места, и последствия отказов.

Поток ограничен *наименьшей вместимостью*; вблизи полной загрузки очередь растёт стремительно; при заторе сбавляют, а не наддают. Всё это — та же наука об управлении, о которой писана книга о кибернетике, только приложенная к путям.

Живучесть покупается избытком, устроенным разнородно и *проверенным отключением*. Сети, сложившиеся сами, стойки к случаю и хрупки к удару по немногим главным узлам.

И последнее. *Кто держит узел, через который проходит всё, тот держит власть* — хочет он того или нет. Оттого главный вопрос о всякой сети не «сколь она быстра», а: *кто назначает имена и правила и что я смогу унести, уходя*.

❖

СЕТЬ

Узлы, связи и мера

Изложение в сорока главах

O.V.K — X.T.R

Набрано и свёрстано
для настольного издания
формата 148 × 210 мм