

Лекции

Лекция 1. Введение в разработку телетрафика	19
Лекция 2. Концепции нагрузки и уровня обслуживания	68
Лекция 3. Теория вероятностей и статистика	96
Лекция 4. Распределение моментов поступления вызовов	114
Лекция 5. Процессы поступления заявок	134
Лекция 6. Пуассоновский процесс	146
Лекция 7. Система с потерями и В-формула Эрланга	164
Лекция 8. Полнодоступные системы с потерями	189
Лекция 9. Теория перегрузки	218
Лекция 10. Многомерные системы с потерями	240
Лекция 11. Планирование телекоммуникационных сетей	270
Лекция 12. Системы с ожиданием	285
Лекция 13. Прикладная теория организации очередей	316
Лекция 14. Сети очередей	360
Лекция 15. Измерение нагрузки	391

Оглавление

Предисловие редактора	12
Особенности книги	13
Список обозначений	15
Лекция 1. Введение в разработку телетрафика	19
1.1. Моделирование телекоммуникационных систем	20
1.2. Обычные телефонные системы	24
1.3. Сети связи	27
1.4. Мобильные системы связи	33
1.5. Рекомендации ИТУ по разработке трафика	36
Краткие итоги	64
Лекция 2. Концепции нагрузки и уровня обслуживания	68
2.1. Концепция трафика и единица измерения трафика [erlang]	68
2.2. Варианты нагрузки и час наибольшей нагрузки	72
2.3. Потери	76
2.4. Возникновение нагрузки и реакция абонентов	78
2.5. Введение в Уровень обслуживания = (GoS)	87
Краткие итоги	92
Лекция 3. Теория вероятностей и статистика	96
3.1. Функции распределения	96
3.2. Комбинация случайных переменных	107
3.3. Стохастическая сумма	109
Краткие итоги	112
Лекция 4. Распределение моментов поступления вызовов	114
4.1. Экспоненциальное распределение	114
4.2. Крутые распределения	118
4.3. Плоские распределения	120
4.4. Распределения Кокса	122
4.5. Другие распределения времени	129
4.6. Наблюдения распределения времени жизни	130
Краткие итоги	131
Лекция 5. Процессы поступления заявок	134
5.1. Описание точечных процессов	134
5.2. Характеристики точечного процесса	139

5.3	Формула Литла	142
	Краткие итоги	144
Лекция 6.	Пуассоновский процесс	146
6.1.	Характеристики Пуассоновского процесса	146
6.2.	Распределения Пуассоновского процесса	147
6.3.	Свойства Пуассоновского процесса.	157
6.4.	Обобщение стационарного Пуассоновского процесса.	160
	Краткие итоги	163
Лекция 7.	Система с потерями и В-формула Эрланга.	164
7.1.	Введение	164
7.2.	Пуассоновское распределение	165
7.3.	Усеченное Пуассоновское распределение	170
7.4.	Общая процедура для диаграмм перехода состояний.	177
7.5.	Расчет по В-формуле Эрланга.	180
7.6.	Принципы измерения нагрузки	182
	Краткие итоги	187
Лекция 8.	Полнодоступные системы с потерями.	189
8.1.	Введение	190
8.2.	Биномиальное распределение (модель Энгсета).	192
8.3.	Распределение Энгсета.	198
8.4.	Отношения между E, B и C	203
8.5.	Расчеты по формуле Энгсета.	205
8.6.	Распределение Паскаля (отрицательное биномиальное распределение).	209
8.7.	Усеченное распределение Паскаля	210
	Краткие итоги	214
Лекция 9.	Теория перегрузки.	218
9.1.	Теория перегрузки.	219
9.2.	Метод эквивалентной случайной нагрузки	223
9.3.	Метод Фредерикса и Хэйварда	229
9.4.	Другие методы, основанные на пространстве состояний	232
9.5.	Методы, основанные на процессах поступления вызовов.	235
	Краткие итоги	238
Лекция 10.	Многомерные системы с потерями	240
10.1	Многомерная В-формула Эрланга	240
10.2.	Обратимые марковские процессы	244

10.3. Многомерные системы с потерями	246
10.4. Алгоритм свертки для систем с потерями.	253
10.5. Алгоритм, основанный на преобразовании пространства состояний.	263
10.6. Заключительные замечания.	268
Краткие итоги	268
Лекция 11. Планирование телекоммуникационных сетей.	270
11.1. Матрицы нагрузки.	270
11.2. Топология	274
11.3. Принципы маршрутизации	274
11.4. Приблизительные методы вычисления значений блокировки «из конца в конец».	274
11.5. Точный метод расчета блокировки «из конца в конец»	275
11.6. Управление нагрузкой и защита сервиса	276
11.7. Принцип Мо.	278
Краткие итоги	283
Лекция 12. Системы с ожиданием	285
12.1. Система с ожиданием Эрланга М/М/п	285
12.2. Характеристики нагрузки систем с ожиданием.	287
12.3. Принцип Мо для систем с ожиданием	293
12.4. Распределение времени ожидания для М/М/п при дисциплине FCFS	295
12.5. Модель восстановления машин (модель Пальма).	299
12.6. Оптимизация модели восстановления машин.	310
Краткие итоги	312
Лекция 13. Прикладная теория организации очередей.	316
13.1. Классификация моделей организации очередей.	316
13.2. Основные результаты в теории организации очередей	321
13.3. Формула Полячека-Хинчина для М/Г/1	322
13.4. Приоритетные системы организации очередей: М/Г/1	326
13.5. Системы организации очереди с постоянными временами занятия	339
13.6. Система организации очереди с одним обслуживающим прибором: Г1/Г/1	349
13.7. Циклическое и совместное использование процессора.	354
Краткие итоги:	356

Лекция 14. Сети очередей.	360
14.1. Введение в сети очередей.	360
14.2. Симметричные системы организации очереди	361
14.3. Теорема Джексона.	363
14.4. Сети очередей с одиночными цепочками.	367
14.5. ВСМР-сети очередей	377
14.6. Многомерные сети очередей.	377
14.7. Закрытые сети очередей с несколькими цепочками.	381
14.8. Другие алгоритмы для сетей очередей.	385
14.9. Сложность.	385
14.10. Оптимальное распределение производительности	386
Краткие итоги	388
Лекция 15. Измерение нагрузки	391
15.1. Принципы и методы измерения.	391
15.2. Теория дискретизации	394
15.3. Непрерывные измерения с неограниченным периодом	398
15.4. Метод сканирования при неограниченном периоде времени	401
15.5. Числовой пример.	404
Краткие итоги	408
Приложение А	409
Упражнения.	409
Приложение В	443
Часть I. Таблица A для заданных $E_{1,n}(A)$ и n	444
Часть II. Таблица $E_{1,n}(A)$ для заданных n и A .	457
Глоссарий	491
Список сокращений	506
Предметный указатель	510
Литература	518

Предисловие редактора

Эта книга посвящена расчету и планированию сетей. В предыдущих книгах рассматривались сети и устройства, на которых основаны современные информационные технологии. Однако очень важным аспектом этих технологий является обеспечение нужного качества обслуживания, которое может падать в результате потерь или задержек из-за перегрузки сетей. Поэтому решено было серию лекций, посвященных вопросам современных информационных технологий, дополнить переводом курса лекций по теории телетрафика.

В результате последних достижений микроэлектроники и техники передача задач расчета сетей стала актуальна даже при разработке аппаратуры и программного обеспечения. Потери в очередях или замедление передачи из-за накопления запросов на одном направлении, возможные аварии или даже катастрофы по этим причинам – все это необходимо учитывать при разработке любых сетей, от местной связи и до Всемирной Паутины.

Расчет телетрафика представлял и представляет собой сложную теоретическую и практическую задачу. Большой вклад в ее решение внесли многие ученые, среди них прежде всего датчанин Агнер Краруп Эрланг (Agnar Kraup Erlang, 1978–1929), швед Конрад «Конни» Пальм (Conrad «Conny» Palm, 1907–1951), норвежец Торе Олаус Энгсет (Tore Olaus Engset, 1865–1943). Отметим большой вклад ученых бывшего СССР: Бориса Самойловича Лифшица, Гелия Павловича Башарина, Александра Яковлевича Хинчина (1894–1959) и др. В настоящее время в этой области успешно работают Сергей Николаевич Степанов и Николай Александрович Соколов.

В последние годы задачи настолько изменились, что потребовались новые подходы, которые были развиты в работах датского ученого Вилли Иверсена. В его книге рассматриваются самые сложные задачи, относящиеся к современным сетям. К ним относятся проблемы систем много-сервисного обслуживания, сетей очередей, планирования и расчета сетей. Долгое время все эти вопросы считались сложными и решались лишь в частных случаях. Вилли Иверсену удалось совместить свои результаты и результаты других ученых для создания единой практической методики.

Книга требует элементарных знаний по теории вероятностей. При рассмотрении примеров полезно быть знакомым с литературой по данному направлению, опубликованной в рамках проекта Интернет-Университета Информационных Технологий.

Особенности книги

Книга издана в рамках проекта Интернет-Университета Информационных Технологий и представляет собой часть учебной программы, которая содержит следующие курсы лекций.

1. Оконечные устройства и линии абонентского участка информационной сети.
2. Абонентские устройства и технологии высокоскоростных сетей.
3. Телекоммуникационные сети и устройства.
4. Основные протоколы Интернета.
5. Цифровые системы связи.
6. Криптография и безопасность сетей.

Они дают возможность последовательного и взаимосвязанного обучения основам построений современных информационных сетей. Изучать их можно в указанном выше порядке. Те специалисты, которых интересуют только конкретные вопросы, могут ознакомиться с ними отдельно.

Некоторые особенности этой книги объясняются попыткой облегчить читателю понимание излагаемых в книге материалов. По своей структуре она близка к уже опубликованным в этой серии книгам (краткие итоги, список терминов, глоссарий).

Ключевые термины, краткие итоги и глоссарий

Список ключевых терминов приводится в конце книги в Предметном указателе. Все ключевые термины также определены в глоссарии, в конце книги.

Каждая лекция заканчивается краткими итогами материала, содержащегося в этой лекции. Этот раздел обеспечивает краткий обзор всех важных пунктов в лекции и при очном обучении может быть использован для проверки знаний.

Набор для практики

Каждая лекция сопровождается набором средств, разработанных с целью закрепить существенные теоретические понятия и проверить знания. Этот набор состоит из двух частей: вопросы и задачи.

Вопросы скрыты и предлагаются по Интернету читателю, который хочет сдать тест для проверки знаний. По сложности они рассчитаны на людей, которые внимательно прочитали лекцию. Они также предназначены для того, чтобы проверить первичное понимание читателем материала, представленного в лекции.

Следует обратить внимание, что проверка знаний осуществляется автоматически, на основе вопросов с альтернативными ответами. Из четырех ответов верный – один, остальные содержат ошибки. Поэтому наилучшей стратегией является сформулировать правильный ответ, а потом проверить его наличие среди предлагаемых вариантов.

Все прямые ответы содержатся в тексте книги.

Как более сложный тест, в конце книги (Приложение А) напечатаны задачи Иверсена, которые применяются для очной проверки в Техническом университете Дании.

Возможно использование для очного опроса разделов «Краткие итоги» и «Предметный указатель».

В заключении хочу выразить свою благодарность профессору, д-ру тех. наук, заведующему кафедрой коммутации и распределения информации СПбГУТ Борису Соломоновичу Гольдштейну за идею перевести и издать эту книгу.

Список обозначений

A	Offered traffic per source	Удельная нагрузка
A	Offered traffic	Предложенная нагрузка A_0
A_c	Carried traffic	Обслуженная нагрузка
A_l	Lost traffic	Потерянная нагрузка = Y
B	Call congestion	Повторная нагрузка
B	Burstiness	Пачечность
C	Constant	Константа
C	Traffic congestion	Избыточная нагрузка
C	Catalan's number	Числа Каталана
D	Slot size in multi-rate traffic	Размер слота в мультискоростной нагрузке
D	Probability of delay or Deterministic arrival or service process	Вероятность задержки или Детерминированный момент поступления вызова или процесса
E		Перегрузка по времени
$E_{1,m}(A)$	E_1 Erlang's B {formula = Erlang's 1. formula)	Первая формула Эрланга
$E_{2,m}(A)$	E_2 Erlang's C {formula = Erlang's 2. formula)	Вторая формула Эрланга
	Improvement function	Функция выигрыша
G	Number of groups	Число групп
H	Constant time interval or service time	Постоянный временной интервал или время обслуживания
$H(k)$	Palm -Jacobeus' formula	Формула Пальма-Якобеуса
I	Inverse time congestion $I = 1/E$	Обратная перегрузка по времени $I = 1/E$
$J_\gamma(z)$	Modified Bessel function of order γ	Модифицированная функция Бесселя порядка γ
k	Accessibility Maximum number of customers in a queuing system	Доступность – максимальное число вызовов в очереди

K	Number of links in a telecommunication network or number of nodes in a queuing network	Число линий связи в телекоммуникационных сетях или число узлов в сети организации очереди
L	Mean queue length	Средняя длина очереди
L_{k0}	Mean queue length when the queue is greater than zero	Средняя длина очереди, когда длина очереди больше нуля
L	Random variable for queue length	Случайная переменная длины очереди
m	Mean value (average)	Средняя величина (математическое ожидание)
m_i	i 'th (non-central) moment	i -ый (нецентральный) момент
m_i'	i 'th central moment	i -ый центральный момент
m_r	Mean residual life time	Минимальное время существования ресурса
M.	Poisson arrival process	Пуассоновский поток вызовов
n	Number of servers (channels)	Число обслуживающих приборов (каналов)
N	Number of traffic streams or traffic types	Число потоков нагрузки или типов нагрузки
$p(i)$	State probabilities, time averages	Вероятность состояния, среднее время
$P\{i; t/j t_0\}$	Probability for state i at time t given state j at time t_0	Вероятность перехода в состояние i во время t из состояния j во время t_0
$P(i)$	Cumulated state probabilities $P(i) = \sum_{x=-\infty}^i p(x)$	Вероятность суммарного состояния $P(i) = \sum_{x=-\infty}^i p(x)$
$q(i)$	Relative (non normalized) state probabilities	Относительная (не нормализованная) вероятность состояния
Q		Нормировочная константа
R	Mean response time	Среднее время ответа
s	Mean service time	Среднее время обслуживания
S	Number of traffic sources	Число источников трафика

t	Time instant	Момент времени
T	Random variable for time instant	Случайная переменная в течение момента времени
U	Load function	Функция нагрузки
v	Variance	Дисперсия
V	Virtual waiting time	Виртуальное время ожидания
w	Mean waiting time for delayed customers	Среднее время ожидания для задержанных вызовов
W	Mean waiting time for all customers	Среднее время ожидания для всех вызовов
W	Random variable for waiting time	Случайная переменная для времени ожидания
x	Variable	Переменная
X	Random variable	Случайная переменная
y	Carried traffic per source	Обслуженная нагрузка на один источник (удельная обслуженная нагрузка)
Y	Carried traffic	Обслуженная нагрузка
Z	Peakedness	Пиковая нагрузка
α	Carried traffic per channel	Обслуженная нагрузка на один канал (удельная нагрузка одного канала)
β	Offered traffic per idle source	Предложенная нагрузка одного канала (удельная предложенная нагрузка)
γ	Arrival rate for an idle source	Интенсивность поступления вызовов от свободного источника
ε	Palm's form factor	Коэффициент Пальма
ν	Lagrange-multiplicator	Множитель Лагранжа
κ_i	i 'th cumulate	i -е слагаемое
λ	Arrival rate of a Poisson process	Интенсивность Пуассоновского процесса

Λ	Total arrival rate to a system	Полная интенсивность поступления вызовов к системе
μ	Service rate, inverse mean service time	Интенсивность обслуживания, обратное среднее время обслуживания
$\pi(i)$	State probabilities, arriving customer mean values	Вероятность состояния, средняя величина поступления вызовов
$\phi(i)$	State probabilities, departing customer mean values	Вероятность состояния, средняя величина обслуживания
ξ	Service ratio	Коэффициент обслуживания
σ^2	Variance, σ -standard deviation	Дисперсия, σ -стандартное отклонение
τ	Time-out constant or constant time-interval	Постоянное время ожидания или постоянный временной интервал

Лекция 1. Введение в разработку телетрафика

В лекции рассматриваются основные задачи теории телетрафика и области приложения этой теории.

Теория телетрафика может быть определена как *приложение теории вероятностей к решению проблем планирования и оценки рабочих характеристик, качества работы и обслуживания телекоммуникационных систем.*

Более широко теория телетрафика может рассматриваться как дисциплина планирования, где инструментальные средства (стохастические процессы, теория организации очереди и числовое моделирование) заимствованы из дисциплины «исследование операций».

Термин *телетрафик* обозначает все виды *трафика передачи данных и телекоммуникационного трафика*. Теория, в первую очередь, будет проиллюстрирована примерами систем передачи данных и телефонными системами. Разработанные инструментальные средства, однако, независимы от технологии и применимы в пределах других областей производства и жизнедеятельности, таких как дорожный трафик, воздушное движение, производственные и сборочные конвейеры, распределение товаров, цеха и склады и все виды систем обслуживания. Задача теории телетрафика может быть сформулирована следующим образом:

обеспечить измерение трафика в четко определенных единицах с помощью математической модели и получить соотношение между уровнем обслуживания и емкостью системы, чтобы запланировать и оптимизировать инвестиции.

Когда известны будущий трафик и емкость системных элементов, практическая работа по теории телетрафика состоит в том, чтобы проектировать системы настолько возможно рентабельно при заранее заданном уровне обслуживания. Кроме того, решение задач разработки телетрафика позволяет определить методы, для того чтобы управлять фактическим уровнем обслуживания и выполнить заданные требования, а также определить аварийные действия, если система перегружена или возникли технические ошибки. Теория телетрафика позволяет определить потребности (например, на основе размеров трафика) и вычислить емкость системы и спецификации количественных характеристик для обеспечения заданного класса обслуживания.

Таким образом, теория позволяет решать на практике ряд краткосрочных и долгосрочных проблем, возникающих в процессе эксплуатации.

Краткосрочные задачи включают в себя, например, определение числа комплектов в группе, составляющей пучок в определенном направлении, числа коммутационных элементов в полях коммутации, числа линеек обслуживания в универсуме, распределение приоритетов доступа к ресурсам в компьютерной системе.

Долгосрочные задачи включают в себя решения относительно развития и дополнения сетей передачи данных и телекоммуникационных сетей, закупки кабельного оборудования, систем передачи, введения нового сервиса и т.д. Приложение теории к проектированию новых систем может помочь сравнить различные решения и на раннем этапе, без создания макетов и прототипов, и устранить неоптимальные решения при построении сетей

1.1. Моделирование телекоммуникационных систем

- Для анализа телекоммуникационной системы должна быть установлена модель описания всей системы или её части. Это фундаментально важный процесс моделирования, особенно для новых приложений теории телетрафика; он требует хорошего знания технической системы и математических инструментальных средств для реализации модели на компьютере. Такая модель содержит три главных элемента (рис. 1.1):
- системная структура;
- стратегия работы;
- статистические свойства трафика.

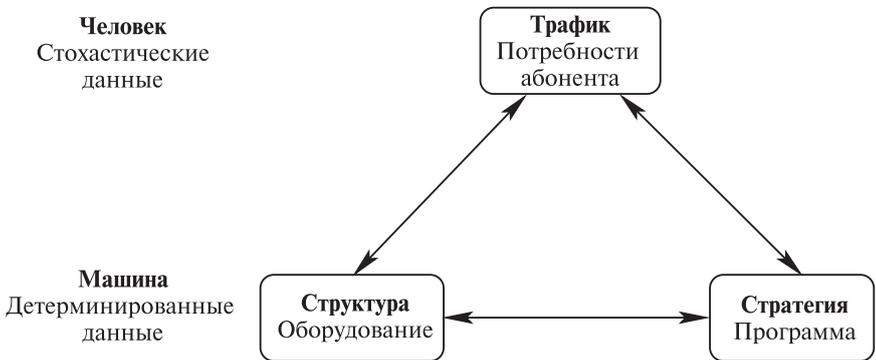


Рисунок 1.1. Телекоммуникационные системы – сложные системы человек/машина. Задача теории телетрафика состоит в том, чтобы конфигурировать оптимальные системы, исходя из знания пользовательских требований и привычек.

1.1. 1. Структура системы

Эта часть определяется технической стороной, и, в принципе, можно ее описать с любым уровнем детализации – например, на уровне принципиальной схемы. Конечно, аспекты надежности отображаются как случайные величины (стохастически), поскольку ошибки возникают случайно, и они могут быть представлены как трафик с высоким приоритетом. Системная структура дается с физической или логической точки зрения, детально отображается в руководствах. Например, технические средства, система дорог, описание движения на дорогах, дороги, светофоры, объездные пути и т.д. характеризуют структуру системы.

1.1.2. Стратегия работы

Данная физическая система (например, объездной путь в дорожной схеме движения) может использоваться различными способами, чтобы приспособить систему движения к потребностям пользователя. При дорожном движении все эти потоки реализуются согласно дорожным правилам и стратегиям, которые могут быть различными в течение суток (утром и вечером). В компьютере процесс регулируется посредством взаимодействия операционной системы и интерфейса с оператором. В телекоммуникационной системе стратегии применяются, чтобы дать приоритет тому или иному вызову и чтобы направить трафик к пункту назначения по оптимальному пути. В телефонной станции с программным управлением задачи, возложенные на центральный процессор, разделены на классы с различными приоритетами. Самый высокий приоритет дается новым принятым вызовам, тогда как стандартное управление оборудованием имеет более низкий приоритет.

1.1.3. Статистические свойства трафика

Пользовательские требования моделируются статистическими свойствами трафика. Измерениями на реальных системах можно подтвердить, что теоретическая модель согласуется с действительностью. Этот процесс должен обязательно иметь итерационную природу (рис. 1.2), а математическая модель – строиться только при полном знании трафика. Свойства трафика, получаемые из модели, должны сравниваться с измеренными данными. Если они не находятся в удовлетворительном соответствии друг с другом, должна быть проведена новая итерация процесса.

Естественно разбить описание свойств трафика на стохастические процессы – поступления заявок и обслуживание. Эти два процесса обыч-

но считаются взаимно независимыми, другими словами, продолжительность обслуживания вызова независима от момента поступления вызова.

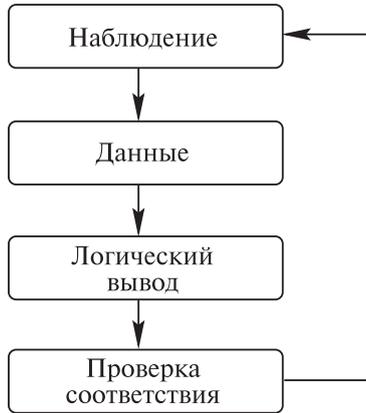


Рисунок 1.2. Теория телетрафика – индуктивная (с обратной связью) дисциплина. Из наблюдений над реальными системами мы устанавливаем теоретические модели, с помощью которых получаем параметры и сравниваем с соответствующими наблюдениями реальной системы. Если есть совпадение, модель утверждается. В противном случае мы должны рассматривать модель далее. Этот научный способ работы назван исследовательской спиралью.

Модели также описывают поведение заблокированных пользователей (абонентов) – тех, которым отказывают в обслуживании, что вынуждает их повторить попытку вызова немного позже (повторные попытки вызова). Рис. 1.3 иллюстрирует терминологию, обычно применяемую в теории телетрафика.

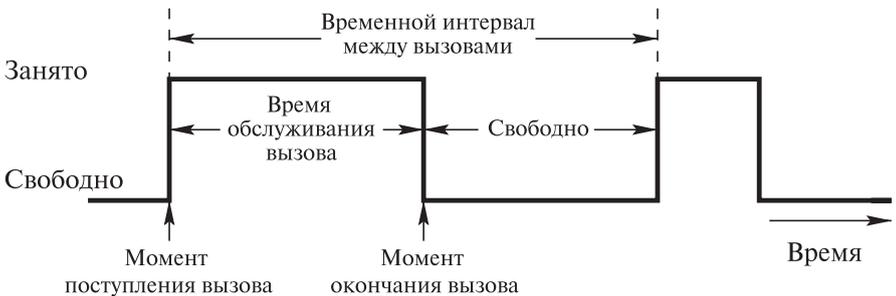


Рисунок 1.3. Иллюстрация терминологии, применяемой в процессе изучения трафика.

Обратите внимание на различие между временными интервалами и моментами времени. Мы принимаем момент поступления вызова и вызов как синонимы. Временной интервал прибытия вызовов (соответственно, временной интервал окончания вызова) и есть разность моментов поступления (соответственно окончания) текущего и поступления (соответственно, окончание) последующего вызова.

1.1.4. Модели

Общие требования к модели:

1. Модель должна позволять проводить простую проверку своих параметров и сравнение их с данными наблюдения;
2. Модель должна гарантировать проведение практической проверки данных измерений.

Например, нам надо описать варианты наблюдения числа установленных вызовов на телефонной станции. Это число постоянно изменяется, поскольку вызовы поступают и заканчиваются. Даже при том, что у абонентов могут быть свои привычки, которым они следуют ежедневно, на основании этих выборок невозможно предсказать отдельные моменты поступления вызовов или их продолжительность. Поэтому для описания этого процесса необходимо использовать статистические методы. Мы говорим, что событие поступления вызова происходит согласно *стохастическому процессу*, и время между поступлениями вызовов подчиняется распределениям вероятностей, которые характеризуют данный стохастический процесс.

Альтернатива математической модели — имитационная модель или физическая модель (прототип).

В компьютерной *имитационной модели* обычно используют непосредственно собранные данные или искусственные данные статистических распределений. Последние обычно предъявляют больше требований к вычислительным ресурсам.

При работе с имитационным вариантом каждая модель не является общей. Любой отдельный случай должен имитироваться. Разработка физического прототипа занимает даже больше времени и ресурсов, чем применение самой имитационной модели. Поэтому зачастую предпочтение отдается математической модели, но часто необходимо применить имитацию, чтобы эту математическую модель разработать. Иногда прототипы создаются для окончательного испытания.

1.2. Обычные телефонные системы

Эта секция дает короткое описание того, что происходит, когда вызов прибывает на телефонную станцию. Мы делим описание на три части: *структура, стратегия и трафик*. Подчеркнем различие между локальными станциями (станции доступа, местные станции, точки привязки) и транзитными станциями, из которых состоят иерархические структуры большинства национальных телефонных сетей. Абоненты связаны с местными станциями или концентраторами, которые, в свою очередь, связаны с местными станциями.

Наконец, транзитные станции используются для того, чтобы связать местные станции или увеличить коэффициент готовности и надежность.

1.2.1. Структура системы

Здесь мы рассматриваем телефонную станцию координатного типа. Хотя этот тип в настоящее время снимается с обслуживания, описание его функциональных возможностей дает хорошую иллюстрацию задач, которые должны быть решены цифровой станцией. Оборудование обычной телефонной станции состоит из *речевых трактов* и *трактов управления* (рис. 1.4).

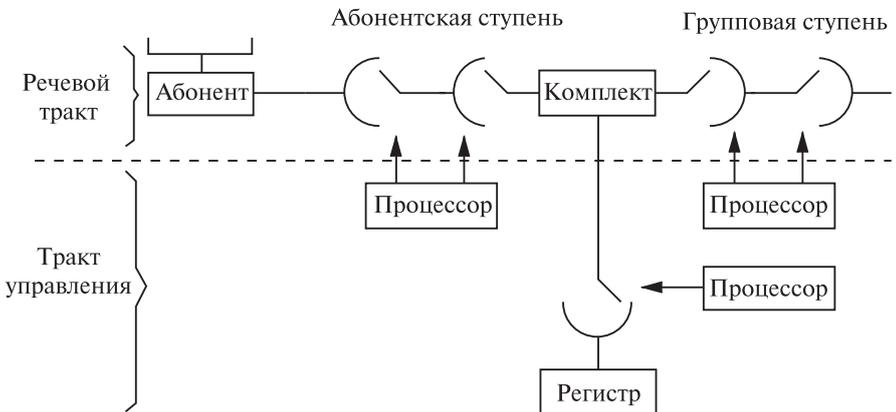


Рисунок 1.4. Типовая структура системы коммутации

Речевые тракты заняты в течение всего времени вызова (математическое ожидание три минуты), в то время как тракты управления заняты только в течение фазы установления вызова (в диапазоне от 0,1 до 1 с). Число речевых трактов поэтому значительно больше, чем число трактов управления. Речевой тракт подключает данный вход (абонента) к данному выходу.

В системе с пространственным разделением речевые тракты состоят из пассивных компонентов (таких, как реле, диоды или интегральные схемы). В системе с временным разделением речевые тракты строятся из заданных временных интервалов в пределах кадра.

Тракты управления отвечают за установление соединения. Обычно оно происходит через много каскадов, где каждый каскад оборудован устройством управления: *процессором* или *регистром*.

Задачи устройства управления:

- определение номера вызывающего абонента (входа);
- прием цифровой информации (номера вызываемого абонента, адреса, выхода);
- поиск возможного соединения между входом и выходом;
- установление соединения;
- освобождение соединения (выполняемое часто самим трактом обмена).

Для того чтобы обслужить вызов, управляющее устройство должно выполнить ряд логических действий. В старых станциях тракт управления реализован на реле и/или электронных устройствах, логические операции выполняются *замонтированной логикой*. Изменения в функциях требуют физических изменений, и эти изменения трудны и дороги.

В цифровых станциях устройства управления — это процессоры. Логические функции проводятся с помощью программного обеспечения, и сделать изменения значительно легче. Логические возможности менее ограничены, поскольку возможности логических операций процессора гораздо больше по сравнению с замонтированной логикой. *Такое управление называется управлением с помощью программного обеспечения станциями*, или *SPC-СИСТЕМАМИ* (системами управления с помощью накопленной программы).

1.2.2. Поведение пользователя

Мы рассматриваем обычную телефонную систему. Когда *А-абонент* посылает вызов (подымает трубку), замыкается абонентский шлейф. В результате на станции срабатывает реле. Станция опознаёт номер вызывающего абонента, и процессор абонентской ступени выбирает свободный комплект (*шнур*). Абонент и комплект связаны через каскад коммутации. Термин «шнур» остался с того времени, когда «живой» оператор посредством шнура вручную подключался к абоненту. Теперь роль оператора играет регистр. Комплект имеет три выхода.

Регистр через ступень коммутации (ступень регистрового искания) подключается к комплекту. Таким образом, абонент подключается к регистру через комплект. Эта фаза занимает менее одной секунды. Регистр