Теория распределения информации

(Теория телетрафика)

Предмет теории телетрафика. Задачи ТТ

Дисциплина «Теория телетрафика» изучает способы обслуживания информационных потоков в телекоммуникационных системах и определения качественных показателей процесса передачи этих потоков. Решаются задачи анализа и синтеза.

В задачах анализа качества обслуживания информационных потоков определяются такие выходные характеристики систем как вероятность потери сообщения, длительность его обслуживания и др. в зависимости от таких входных параметров как интенсивность и характер входного потока (телефонные вызовы, пакеты и т.п.), количество и пропускная способность обслуживающих устройств (каналы, микропроцессоры, серверы и т.п.), система приоритетов и др.

Задачи синтеза менее проработаны ввиду их большой сложности и не ушли дальше таких простых случаев как определение необходимого числа каналов при известной интенсивности входного потока и заданного качества (вероятности потерь).

Основные элементы модели исследуемой системы

Входные параметры

X

(Потоки вызовов, требуемое качество)

Обслуживающие устройства

(каналы и др.)

Выходные характеристики

У

Потери, задержки и др

Основные виды моделирования

Методы моделирования телекоммуникационных систем

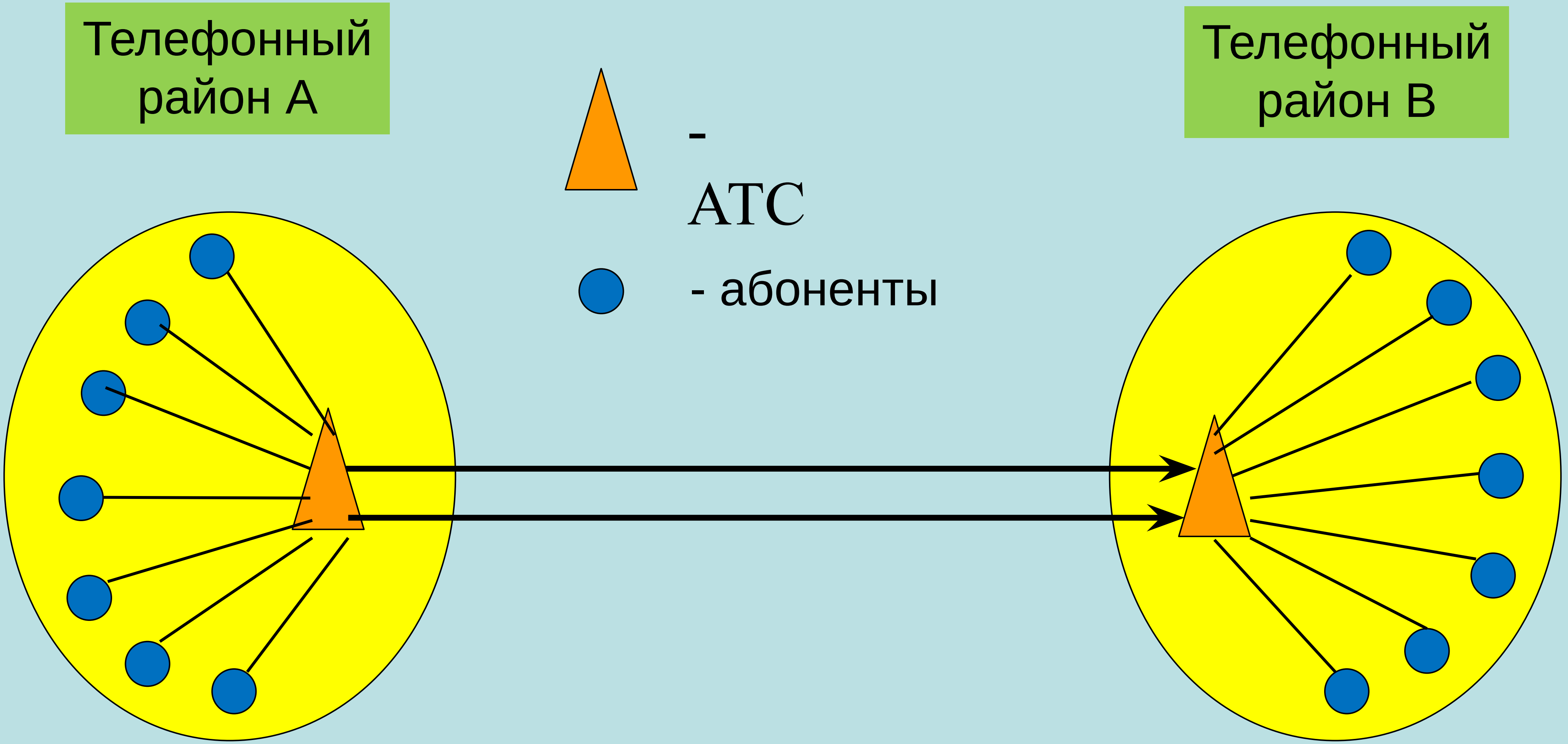
Натурное

Математическое

Аналитическое

Имитационное

Схема 2-х канальной телефонной сети

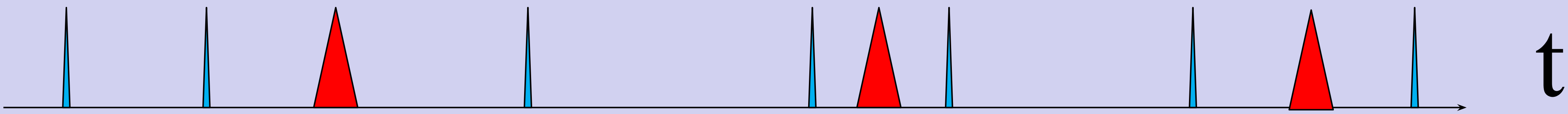


Интенсивность вызовов из ТР-А в ТР-В: $\lambda = N \cdot \lambda_0$ выз/ед.вр

где: λ_0 **-** средне статистическая интенсивность вызовов от одного абонента; N – число абонентов в ТР-А

Фрагмент процесса натурного моделирования

Анализ системы с явными потерями



- принятые вызовы   - потерянные вызовы (отказы)

Вероятность потери вызова $P = n / N = 3 / 10 = 0.3$

n – число потерянных вызовов

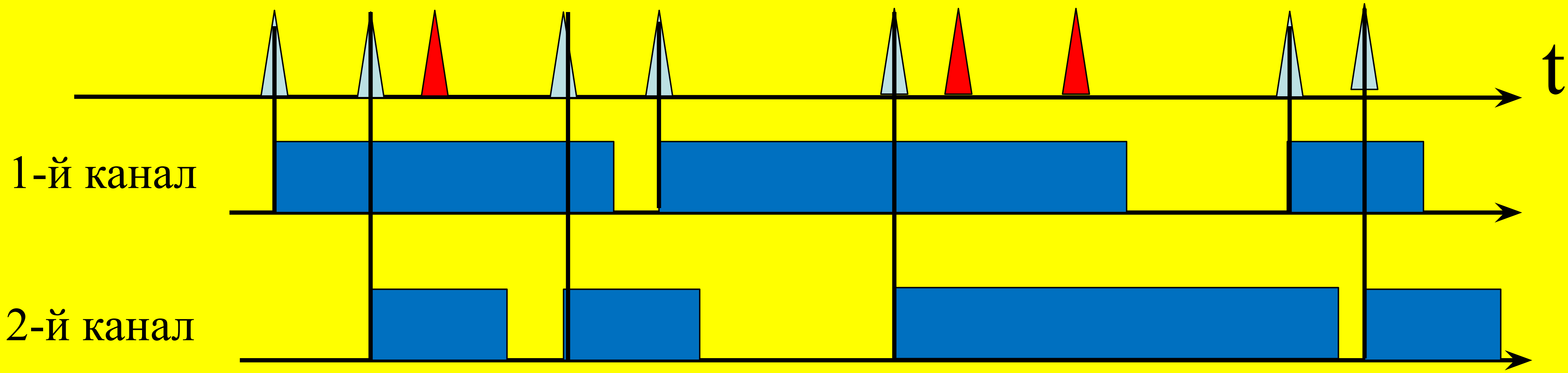
N – **общее число вызовов**

Для проведения натурного моделирования на исследуемых объектах (АТС, базовые станции сотовой сети и т.д.) необходимо иметь средства контроля (подсчёт значений **n** и **N**)

Современное оборудование (коммутаторы, маршрутизаторы и др.), как правило, содержит встроенные агенты, которые информируют пункты управления сетью (менеджеры) о проходящих в них процессах (вызовы, потери, отказы, пакеты, нарушение адресации и пр.)

Фрагмент процесса имитационого моделирования

Входной поток заявок в 2-х канальную систему с отказами (потерями)



- имитация занятого состояния канала

Вероятность потери вызова $P = n / N = 3 / 10 = 0.3$

n – число потерянных вызовов N – общее число вызовов

Для получения статистически достоверного результата число испыта-ний N должно быть достаточно большим (10000 и более)

Ниже приведена программа имитационного моделирования 2-х канальной системы на языке моделирования GPSS

```
*анализ многоканальной системы с потерями на языке GPSS
ggg     storage      2          ;установка числа каналов
        generate     20,20      ;генерация вызовов
        gate snf     ggg,met    ; устройство не заполнено?
        enter        ggg        ;Да. Занять канал
        advance      18,10      ;задержать транзакт
        leave        ggg        ;освободить канал
        terminate    1          ;вывести транзакт из системы
met     savevalue    ot+,1      ;зафиксировать очередной отказ
        terminate    1          ;вывести транзакт из системы
```

Общее число вызовов **N** устанавливается при запуске программы.

Число потерянных вызовов в данном прогоне **n** будет выдано в стандартном отчёте по прогону в переменной **savevalue**.

Аналитическая модель многоканальной системы с потерями

Для пуассоновского входящего потока вызовов Λ и экспоненциального распределения длительности обслуживания t (система M/M/v) вероятность потери вызова в v-канальной системе определяется 1-й формулой Эрланга:

$$P = \frac{\frac{\Lambda^{v}}{v!}}{\sum_{0}^{v}\frac{\Lambda^{j}}{j!}}$$

Здесь Λ - интенсивность вызовов в условную единицу времени.

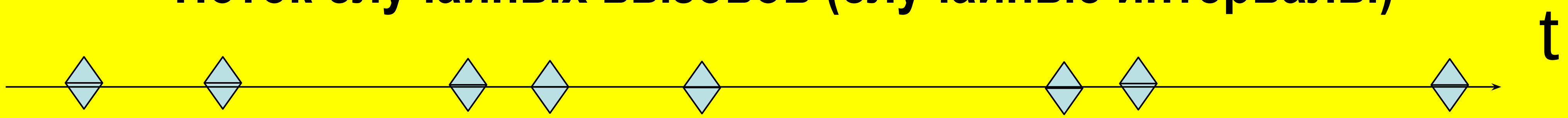
1 у.е.в. равна средней длительности одного обслуживания t.

$\Lambda = \lambda t$, где λ - интенсивность вызовов в астрономическую единицу времени

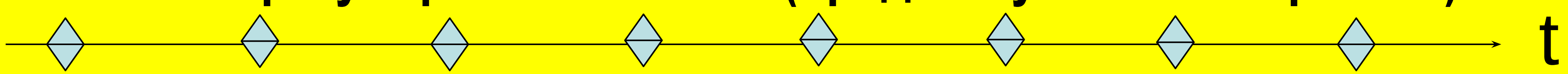
Виды потоков вызовов (событий)

Поток – последовательность однородных событий (моменты наступления вызовов, окончаний разговоров, отказов и др.)

Поток случайных вызовов (случайные интервалы)



Поток регулярных вызовов (предсказуемые интервалы)



Вызов характеризуется только моментом своего наступления

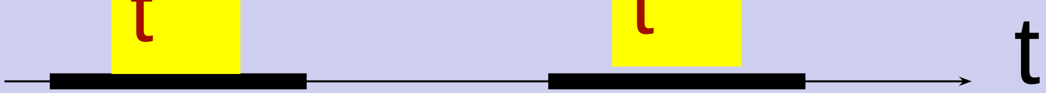
и не имеет длительности

Основные свойства потоков вызовов

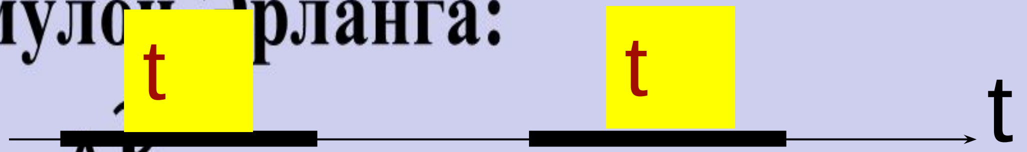
Стационарность, ординарность, последействие

Основные свойства потоков вызовов

Для пуассоновского входящего потока вызовов Λ и экспоненциального распределения длительности обслуживания t



(система M/M/v) вероятность потери вызова в v-канальной системе определяется 1-й формулой Эрланга:



$$P = \frac{\frac{\Lambda^v}{v!}}{\sum_0^v \frac{\Lambda^j}{j!}}$$

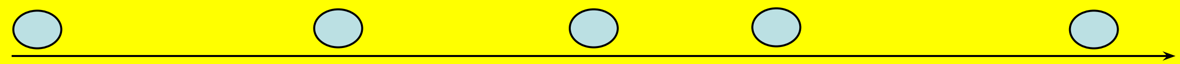
t

P_i – вероятность появления i вызовов

Основные свойства потоков вызовов

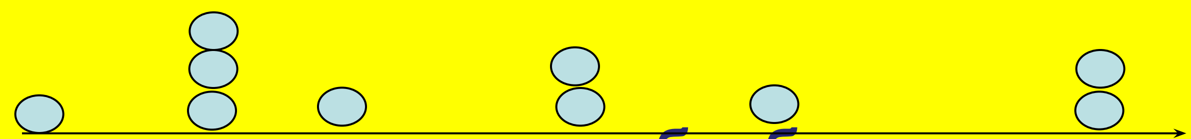
Ординарность

Ординарный поток



Невозможность одновременного наступления двух или более событий (например, телефонные вызовы, обращения клиентов к серверам)

Не ординарный поток



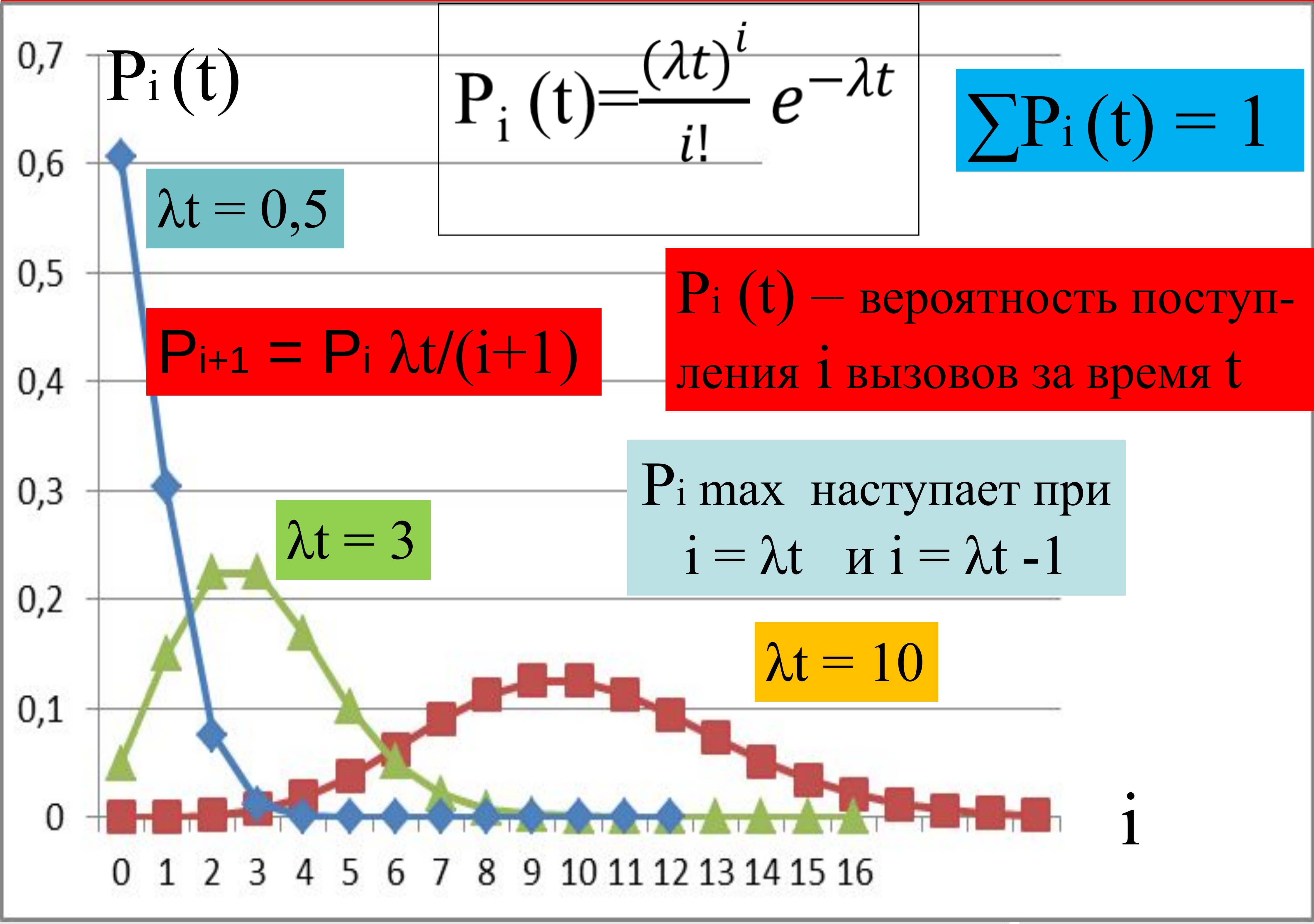
(Например, поступление пачки телеграмм на обработку к оператору)

Последействие

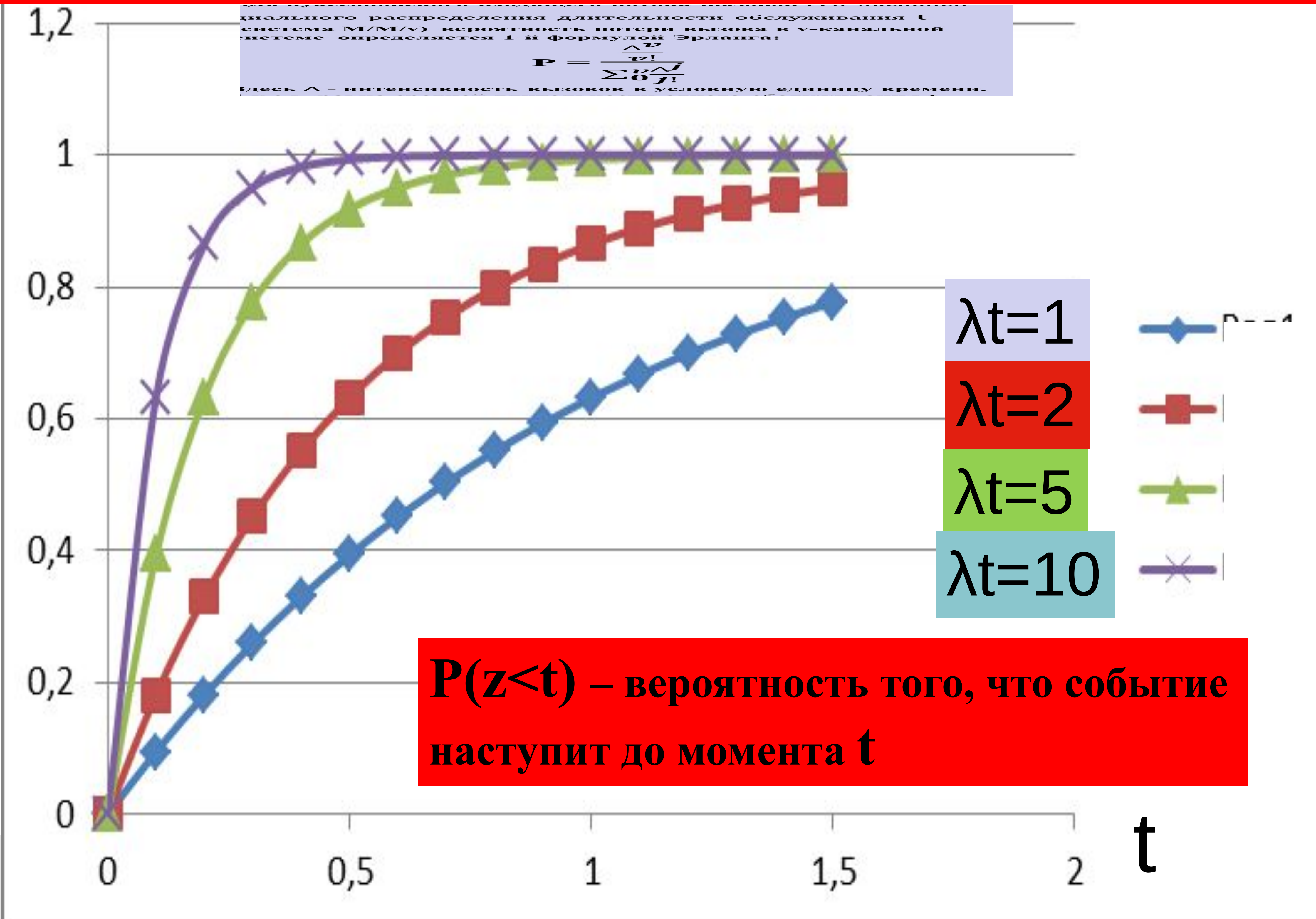
Последействие отсутствует, если никакие события, произошедшие до момента времени t, не влияют на поведение системы после t (например, процессы в городской телефонной сети)

В учрежденческой АТС последействие присутствует из-за ограниченного числа источников вызовов

Гистограммы пуассоновского распределения



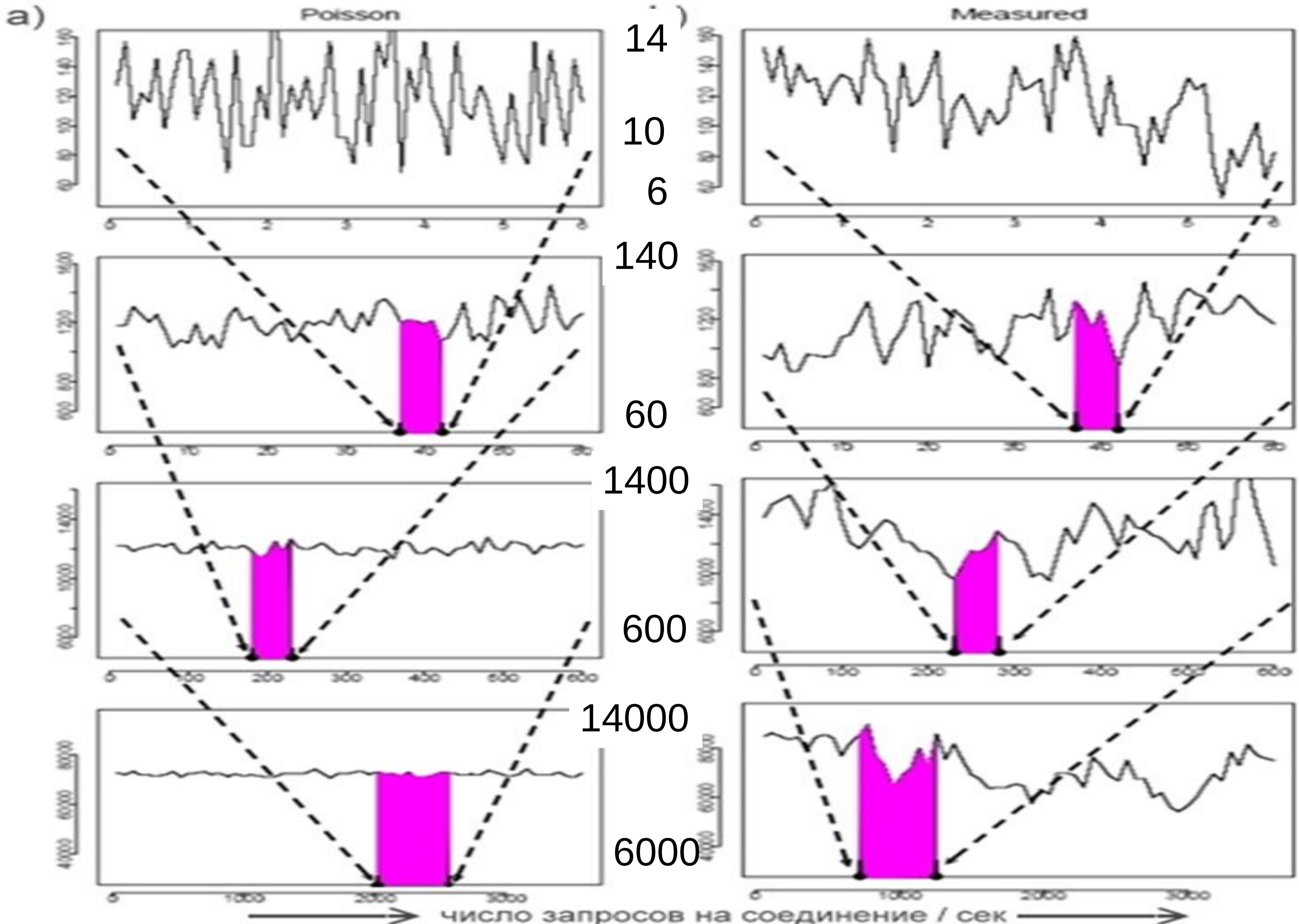
Экспоненциальное распределение



P(z<t) – **вероятность того, что событие наступит до момента t**

Экспоненциальное распределение интервалов между вызовами

Временн*ые* реализации самоподобного и несамоподобного трафиков



Нагрузка и качество обслуживания (вероятности потерь/ожидания)

У - поступающая (входная) нагрузка → **v каналов** → $У_о$ – обслуженная нагрузка

v каналов ↓ $У_п$ – потерянная нагрузка

$У = У_о +$ У

$У_о = У(1\text{-}Р)$

$У = \lambda t$ [Эрл]

Вероятности потерь (Р):

Потери по времени – $Р_t = t_{\text{время занятости всех каналов}} / Т_{\text{общее время наблюдения}}$

Потери по вызовам – $Р_в = c_{\text{потерянных вызовов}} / С_{\text{общее число поступивших вызовов}}$

Потери по нагрузке – $Р_н = У_{\text{потерянная}} / У$ $\quad Р_t \geq Р_в \geq Р_н$.

Для системы М/М/v $\quad Р_t = Р_в = Р_н$

Для систем с потерями – вероятность потерь – 1-я формула Эрланга

$$Р_i = Р_v = Р_t = Р_в = Р_н = Е_v\,(У)$$

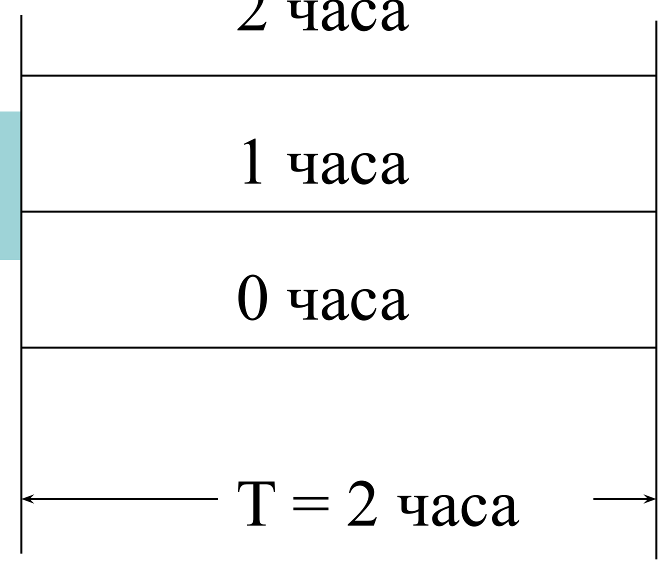
Для систем с ожиданием - вероятность ожидания – 2-я формула Эрланга

$$Р(\gamma > 0) = Р_{\geq v} = Р_t = D_v\,(У)$$

Работа системы

Работа системы A за время наблюдения T – равна сумме времён занятости всех каналов

$A = 3$ Эрл.час



$Y = \lambda t$

$\lambda = c/T$

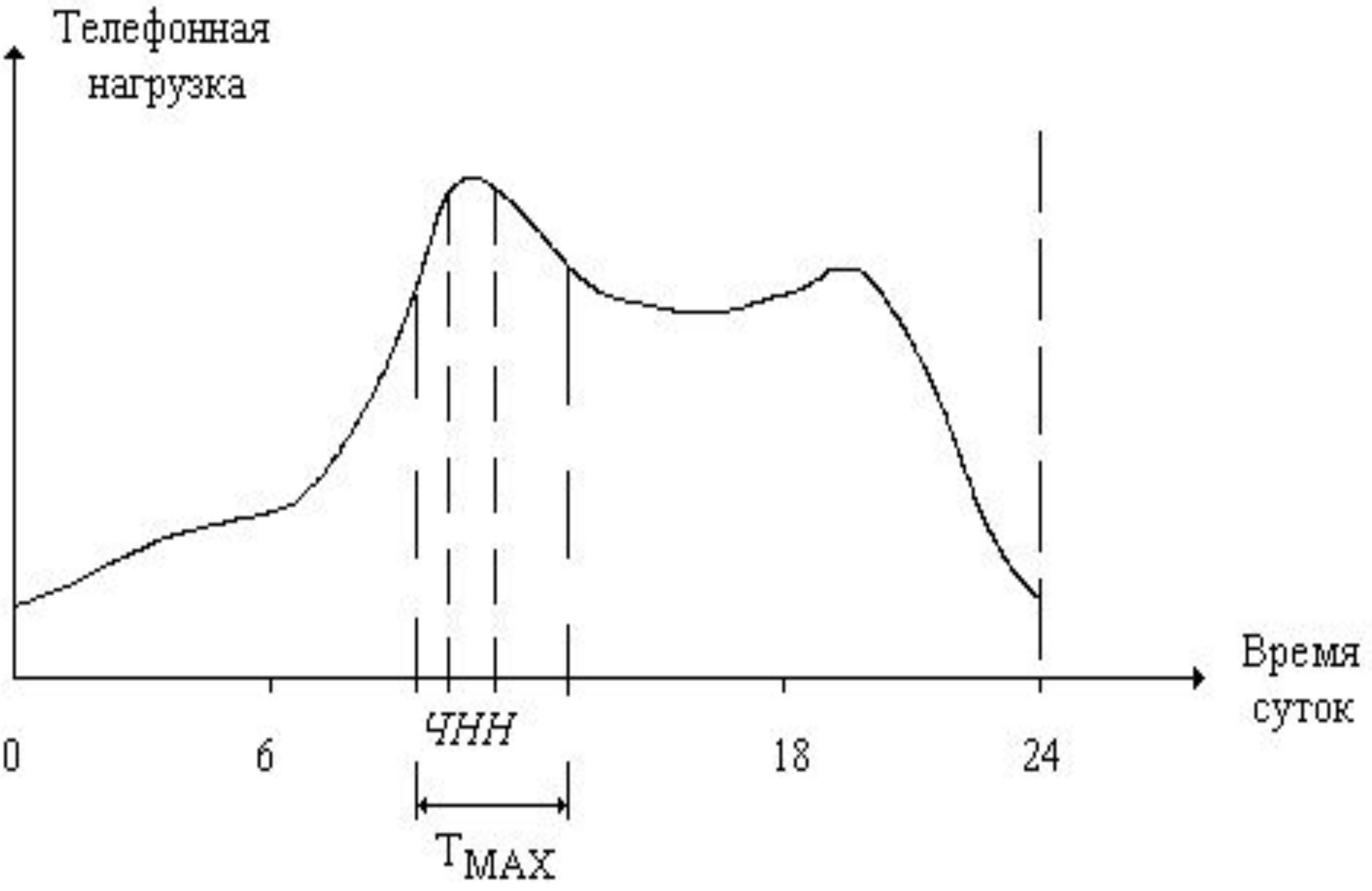
$A = Y_o T$

$Y_o = A / T = 1.5 =$ Эрл

Обратите внимание – в этих формулах

Y_o – обслуженная нагрузка

Изменение телефонной нагрузки во времени. ЧНН



Изменение информационной нагрузки во времени

Инфокоммуникационная нагрузка в сети представляет собой суммарную нагрузку всех видов трафика (A, V, D).

Инфокоммуникационная нагрузка меняется в зависимости от времени суток, дней недели, времён года, праздничных дней, а также при возникновении чрезвычайных ситуаций.

Всплески нагрузки могут зависеть и от территории района. Например, в деловых районах города всплески, как правило, наступают около 10-и и 14-и часов, а в спальных районах – около 19-и, 20-и часов.

Кроме того, пики нагрузки перемещаются в течении дня в соответствии с часовыми поясами.

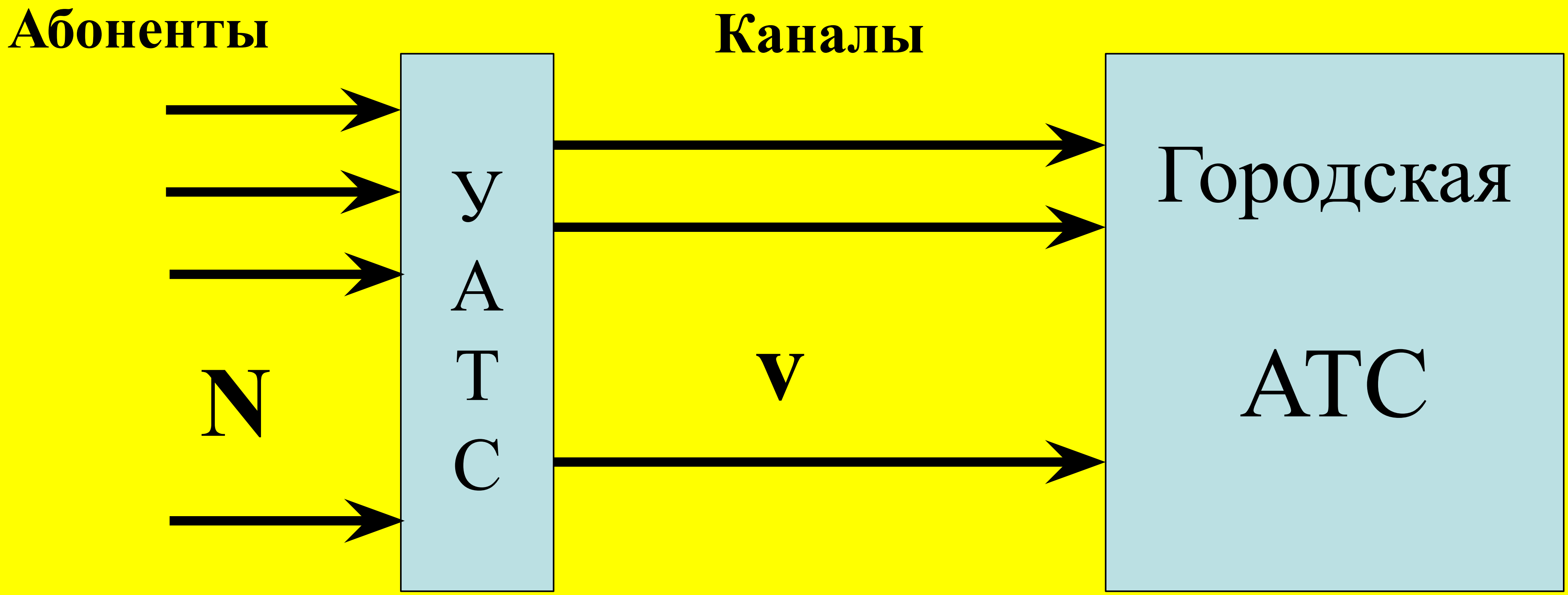
Перечисленные изменения характерны для потоков связанных с деятельностью человека. Системы видеонаблюдения имеют, как правило, равномерный трафик, поскольку, обычно, они через равные интервалы времени передают в центр мониторинга сообщения одинаковой длины.

Основные требования к обслуживанию пакетов в сетях

Класс QoS	IPTD	IPDV	IPLR
0	100 мс	50 мс	10^{-3}.
1	400 мс	50 мс	10^{-3}.
2	100 мс	U	10^{-3}.
3	400 мс	U	10^{-3}.
4	1 с	U	10^{-3}.
5	U	U	U

Схема образования примитивного потока вызовов

УАТС – учрежденческая АТС



$$\lambda_i = aN_i = a(N - i)$$

i – число занятых каналов

ля пуассоновского входящего потока вызовов Λ и экспонен-
иального распределения длительности обслуживания t
истема M/M/v) вероятность потери вызова в v-канальной
истеме определяется 1-й формулой Эрланга:

$$P = \frac{\frac{\Lambda^v}{v!}}{\sum_0^v \frac{\Lambda^j}{j!}}$$

десь Λ - интенсивность вызовов в условную единицу времени.
у.е.в. равна средней длительности одного обслуживания t.

λ_i – интенсивность потока вызовов от УАТС

a – интенсивность вызовов от одного источника (абонента), находящегося в свободном состоянии

Дисциплины обслуживания

Дисциплина без потерь – поступивший вызов обслуживается в любом случае и без задержки.

Дисциплина с потерями – при занятости всех обслуживающих устройств вызов теряется и соответствующее ему сообщение больше в систему не поступает.

Дисциплина с ожиданием – при занятости всех обслуживающих устройств вызов устанавливается в очередь. Очередь предполагается бесконечной.

Дисциплина с повторными вызовами – при занятости всех обслуживающих устройств вызов теряется, а источник вызовов делает повторные вызовы для передачи того же самого сообщения.

Дисциплины с ожиданием и с повторными вызовами являются дисциплинами с условными (не явными) потерями, т.е. с потерями времени, а не самого сообщения.

Комбинированная система объединяет дисциплины с потерями и с ожиданием. В системе имеется очередь ограниченной длины.

Три варианта обслуживания вызова:

- обслуживающее устройство свободно – вызов обслуживается сразу,
- обслуживающее устройство занято, а в буфере ожидания есть свободные места. Вызов устанавливается в очередь,
- в буфере ожидания нет свободных мест. Вызов и соответствующее ему сообщение теряются безвозвратно.

Дисциплины обслуживания в реальных системах

Дисциплина без потерь для случайных потоков может выполняться только при условии, что число обслуживающих устройств (каналов) не меньше числа источников вызовов (абонентов). Практически это может наблюдаться для примитивного потока вызовов, например, в УАТС при $N < v$. Напомним, что простейший (пуассоновский) поток возникает от очень большого (теоретически бесконечного) числа источников (абонентов). Для дисциплины без потерь нужно бескон. число каналов.

Обслуживание с потерями может наблюдаться только в тех редких случаях, когда в системах без ожидания абоненты по каким-либо причинам не идут на повторные вызовы.

Дисциплина с повторными вызовами наблюдается в очень многих случаях, связанных с инициацией человеком телефонного соединения (сотовые сети, фиксированная телефония и др.) при отсутствии свободных каналов.

Комбинированная система обслуживания (сочетание потерь и ожидания) наблюдается повсеместно для систем с очередями, поскольку для чистой системы с ожиданием требуется возможность установления очереди бесконечной длины. Реализуется во всех системах с коммутацией пакетов, например, в маршрутизаторах Internet, в сотовых сетях с пакетным режимом работы (GPRS, LTE) и др.

Символика Кендалла – Башарина для моделей обслуживания

X/X/X/X

число мест ожидания в очереди (r)

число обслуживающих каналов (v)

Распределение длительностей обслуживания. Символы:
- M - экспоненциальное;
- D - детерминированное;
- E - эрланговское ;
- G - произвольное (General).

Закон распределения поступающего потока вызовов. Символы:
- M- пуассоновский поток;
- D - детерминированный поток;
- E - эрланговский поток;
- G - произвольный (General) поток;

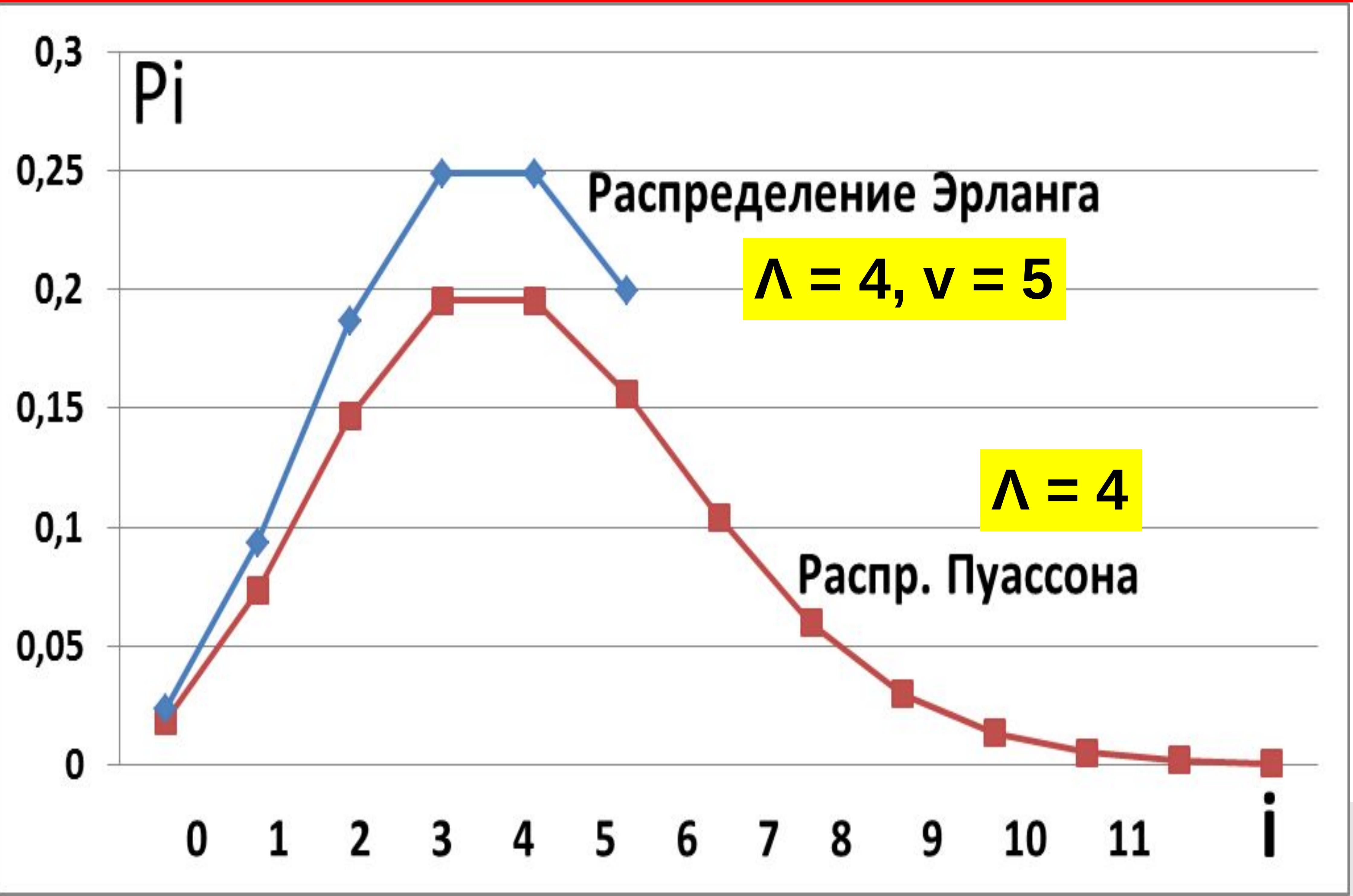
Например: M/G/5/7 означает:
- пуассоновский входной поток;
- произвольное распределение длительности обслуживания;
- 5 каналов в пучке; 7 мест ожидания в очереди.

M/M/5 – пятиканальная система с потерями

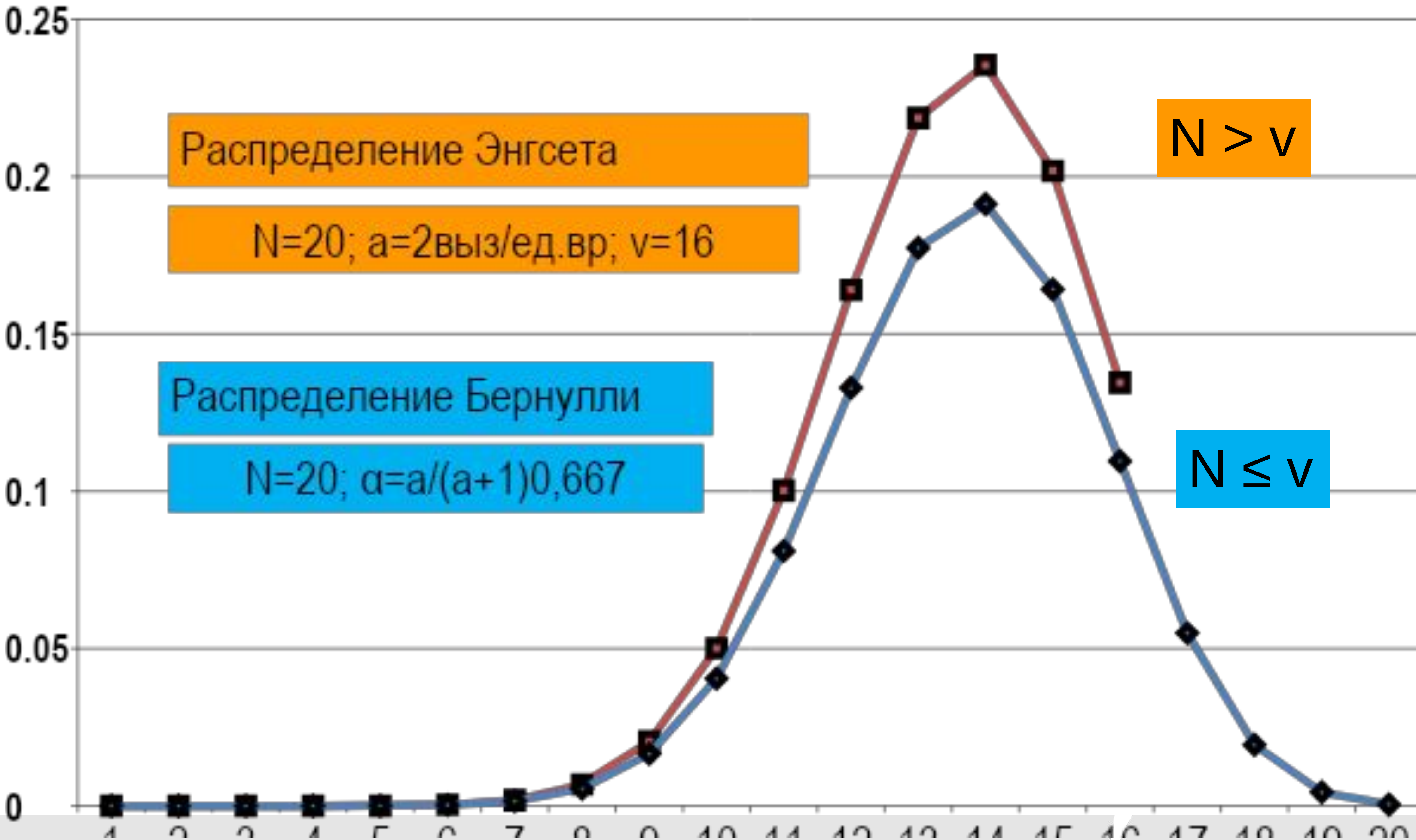
Распределения вероятностей занятости чисел каналов P_i

Простейший входной поток		Примитивный входной поток	
Без потерь	С потерями	Без потерь	С потерями
Распределение Пуассона	Распределение Эрланга	Распределение Бернулли	Распределение Энгсета
$P_i = \frac{\Lambda^i}{i!} e^{-\Lambda}$	$P_i = \dfrac{\frac{\Lambda^i}{i!}}{\sum_{i=0}^{v} \frac{\Lambda^i}{i!}}$	$P_i = C_N^i a^i (1-a)^{N-i}$	$P_i = \dfrac{C_N^i a^i}{\sum_{i=0}^{v} C_N^i a^i}$
$i = \overline{0,\infty}$	$i = \overline{0,v}$	$i = \overline{0,N}$; при $v \geq N$	$i = \overline{0,v}$; при $v < N$

Огибающие распределений вероятностей чисел занятых каналов для простейшего входящего потока.



Огибающие распределений вероятностей чисел занятых каналов для примитивного входящего потока.



Система с ожиданием с бесконечной очередью (M/M/v/∞)

Вероятность ожидания $P(\gamma > 0) = P_{\geq v} = P_t = D_v(\Lambda)$

а) Вероятность превышения длиной очереди заданной величины n определяется с использованием второй формулы Эрланга:

$$P(S > n) = \sigma^{\infty}_{⊠=⊠+⊠+1} ⊠_{⊠} = (\Lambda / v)^{n+1} \; D_v(\Lambda).$$

б) Средняя длина очереди определяется как:

$$\overline{S} = \sigma^{\infty}_{i=v} (i - v) P_i = \Lambda D_v(\Lambda)/(v - \Lambda)$$

в) Средняя длительность ожидания рассматривается в двух вариантах:

- $\overline{\gamma}_з$ - средняя длительность ожидания для задержанных вызовов
- $\overline{\gamma}$ - средняя длительность ожидания для всех вызовов

$$\overline{\gamma}_з = 1/(v - \Lambda), \qquad \overline{\gamma} = \overline{\gamma}_з D_v(\Lambda) = D_v(\Lambda) / (v - \Lambda)$$

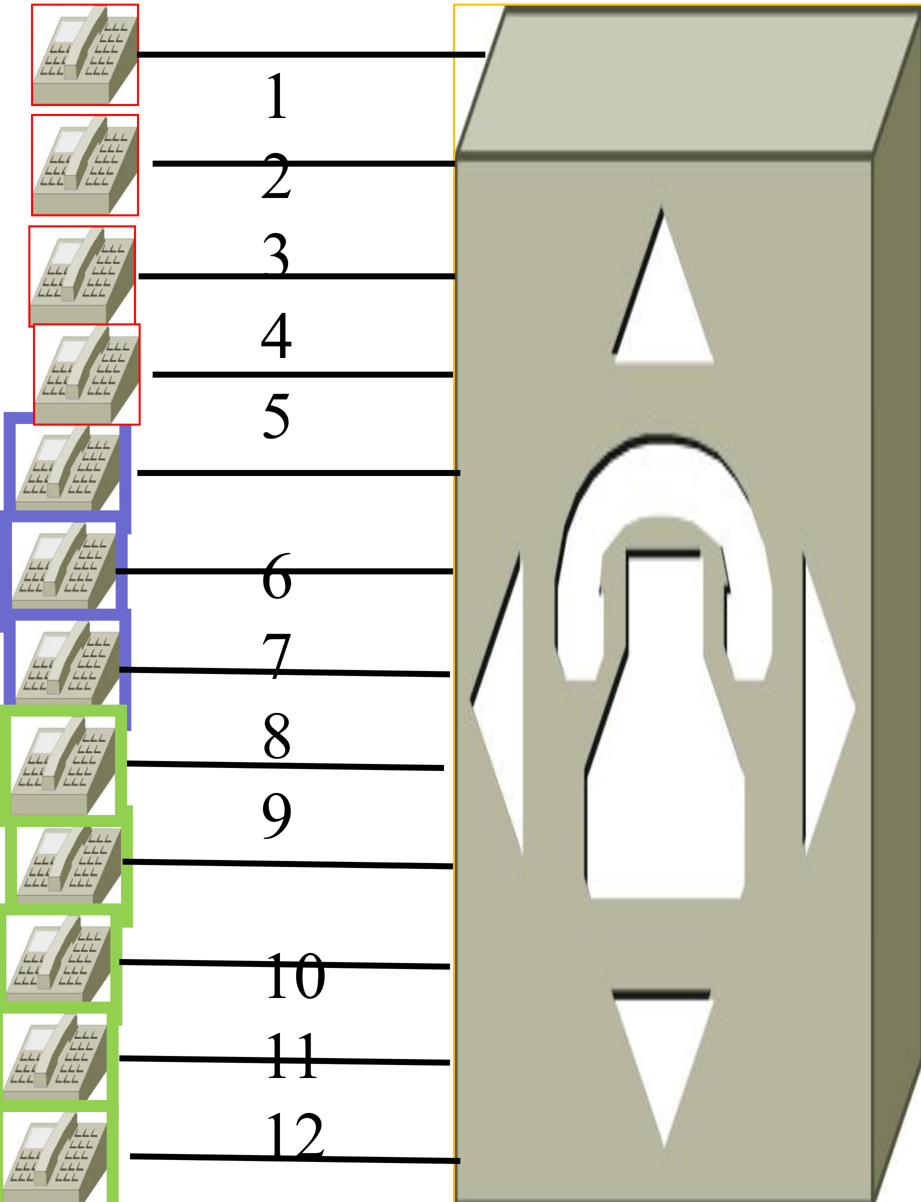
г) Вероятность ожидания свыше допустимого времени $t_д$

$$P(\gamma > t_д) = \sigma^{\infty}_{i=v} P_i (\gamma > t_д) P_i = D_v(\Lambda) ⊠^{-(⊠-\Lambda)t_д}$$

Величины $\overline{\gamma}$, $\overline{\gamma}_з$ и $t_д$ выражена в условных единицах времени (у.е.в.).

$$1 \text{ у.е.в.} = t_{обслуживания}$$

Работа учрежденческой АТС в режиме с повторными вызовами



i - абоненты (источники), занятые разговором

j - абоненты, повторяющие вызовы

(N-i-j) – свободные абоненты

1

2

v-число каналов к ГТС

Городская АТС

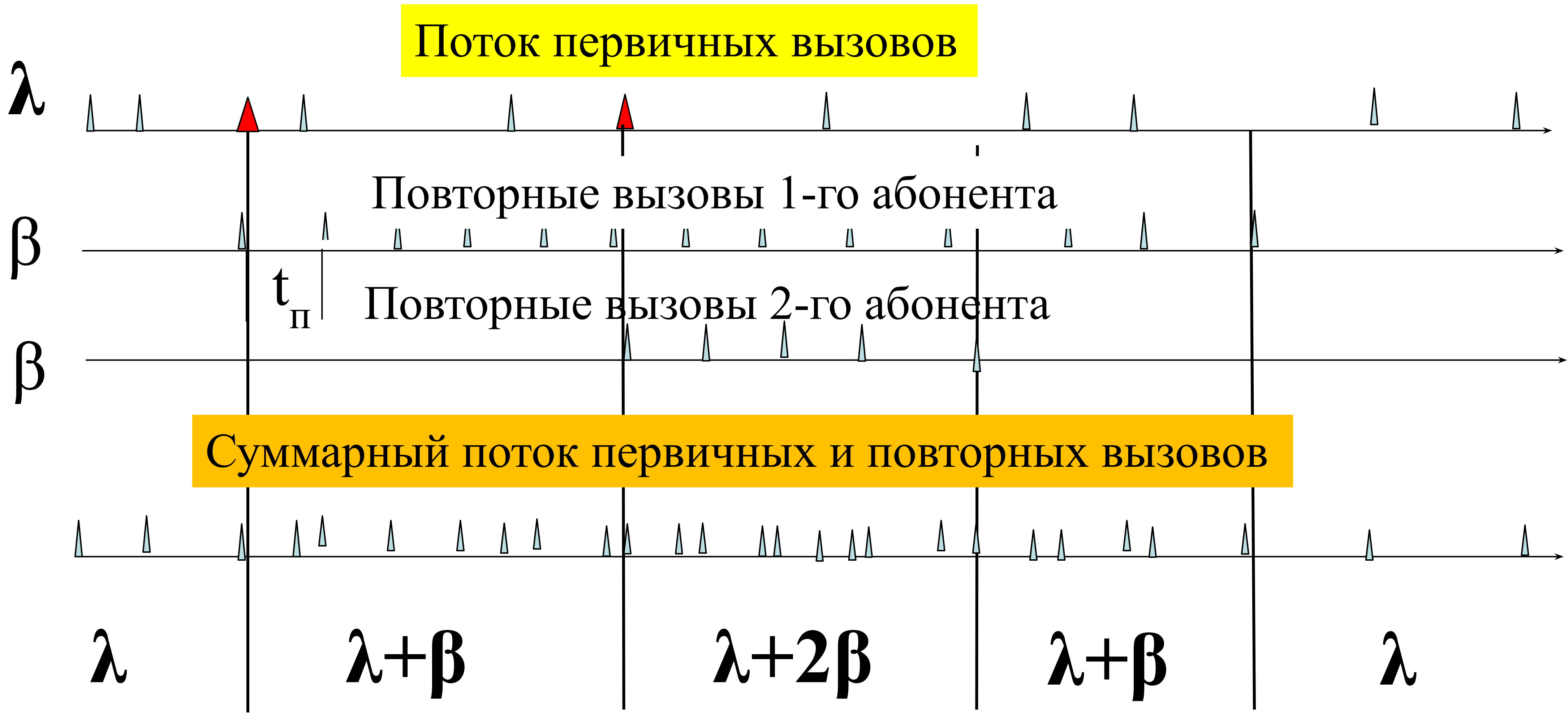
a - интенсивность вызовов от свободных источников, выз/ед.вр

β – интенсивность повторных вызовов, выз/ед.вр

N – число абонентов УАТС

Поток исходящих вызовов $\lambda_{ij} = a(N-i-j)+j\beta$

Интенсивность вызовов в дисциплине с повторными вызовами



$$\lambda_j = \lambda + j\beta$$

- Первичный вызов, получивший отказ

j - число абонентов, повторяющих вызовы

$\beta = 1/t_п$; $t_п$ - время между повторными вызовами

Вариант расчёта пропускных способностей ветвей без учёта пульсаций трафика

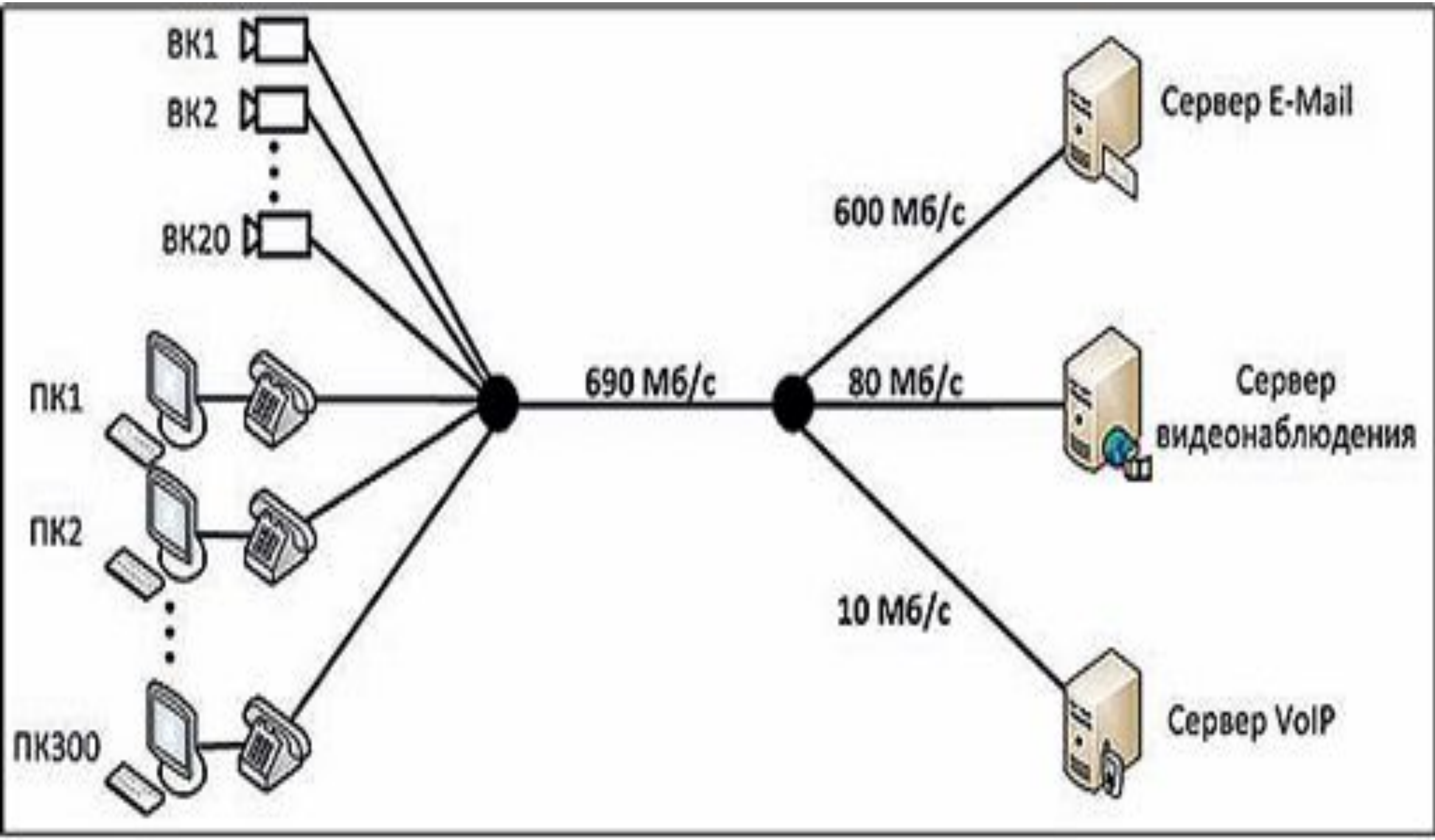


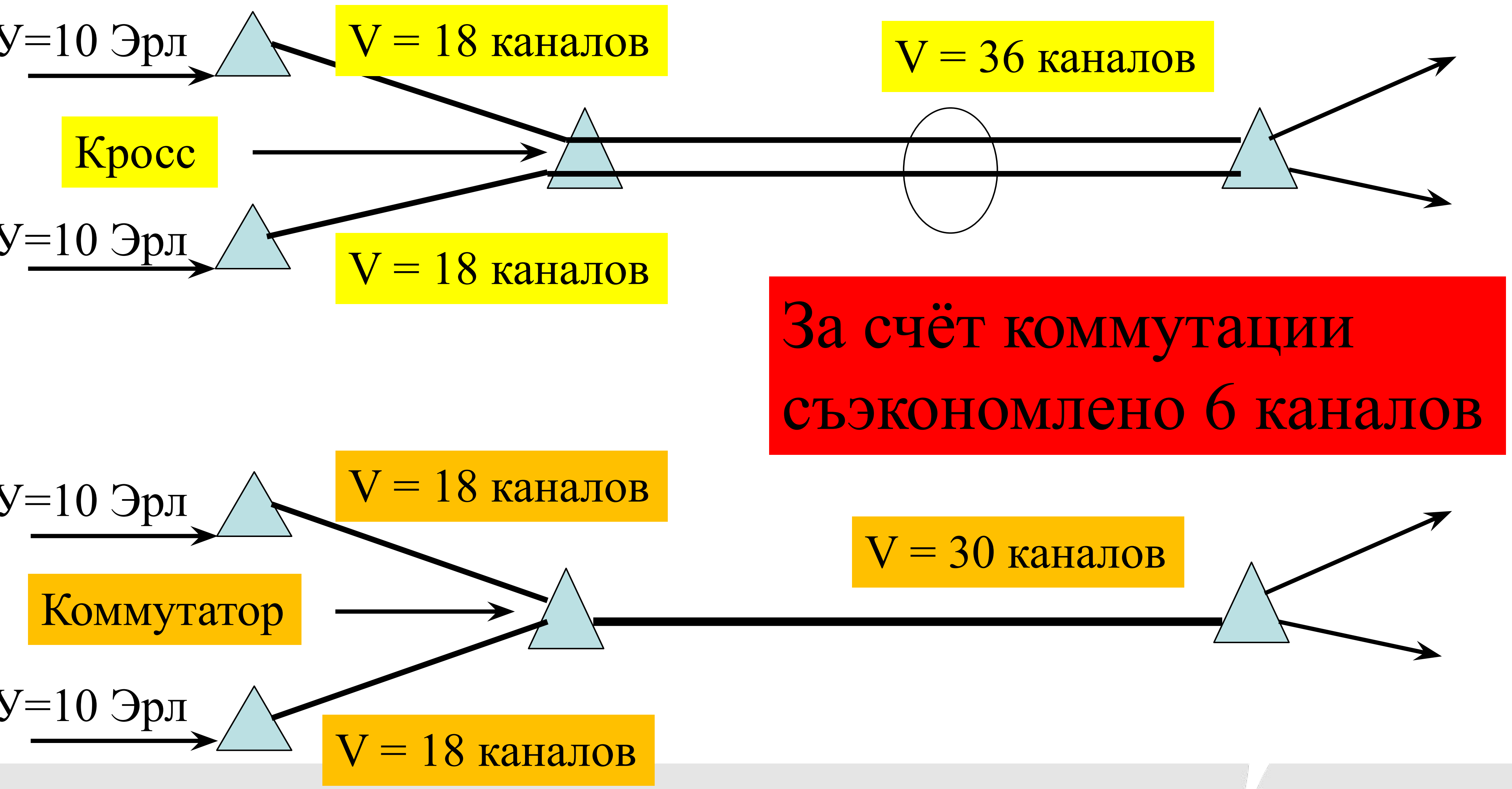
Рис. 1. Пример расчета пропускной способности для простейшей топологии сети

Эффект от объединения потоков в пучках каналов

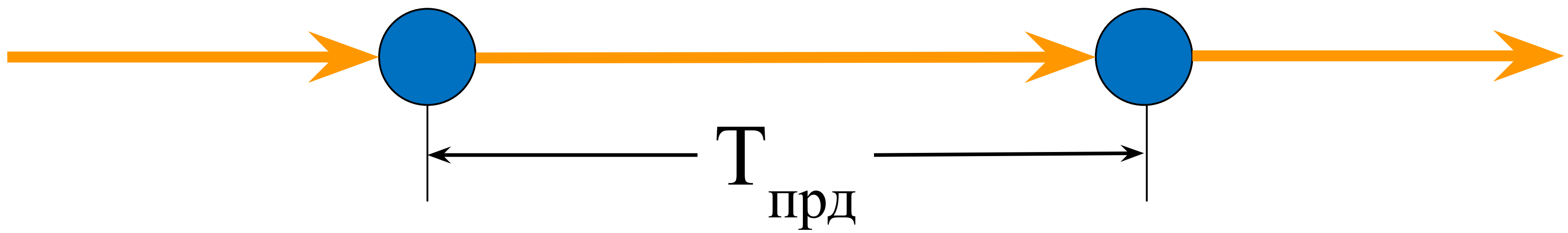
Система с явными потерями

Условие: 2 пучка с входной нагрузкой – У = 10 Эрл;

Допустимая вероятность потерь – P = 0.01



Расчёт времени передачи пакета между узлами



Исходные данные: длина пакета - L байт, скорость канала - C бит/с, расстояние между узлами – R км, скорость ЭМВ в кабеле – v км/с.

$$T_{прд} = t_{выбора} + t_{ожидания} + t_{перемещения} + t_{распростр} + t_{канала}$$

$t_{выбора}$ – время выбора направления передачи пакета. Примем = 2 мкс.

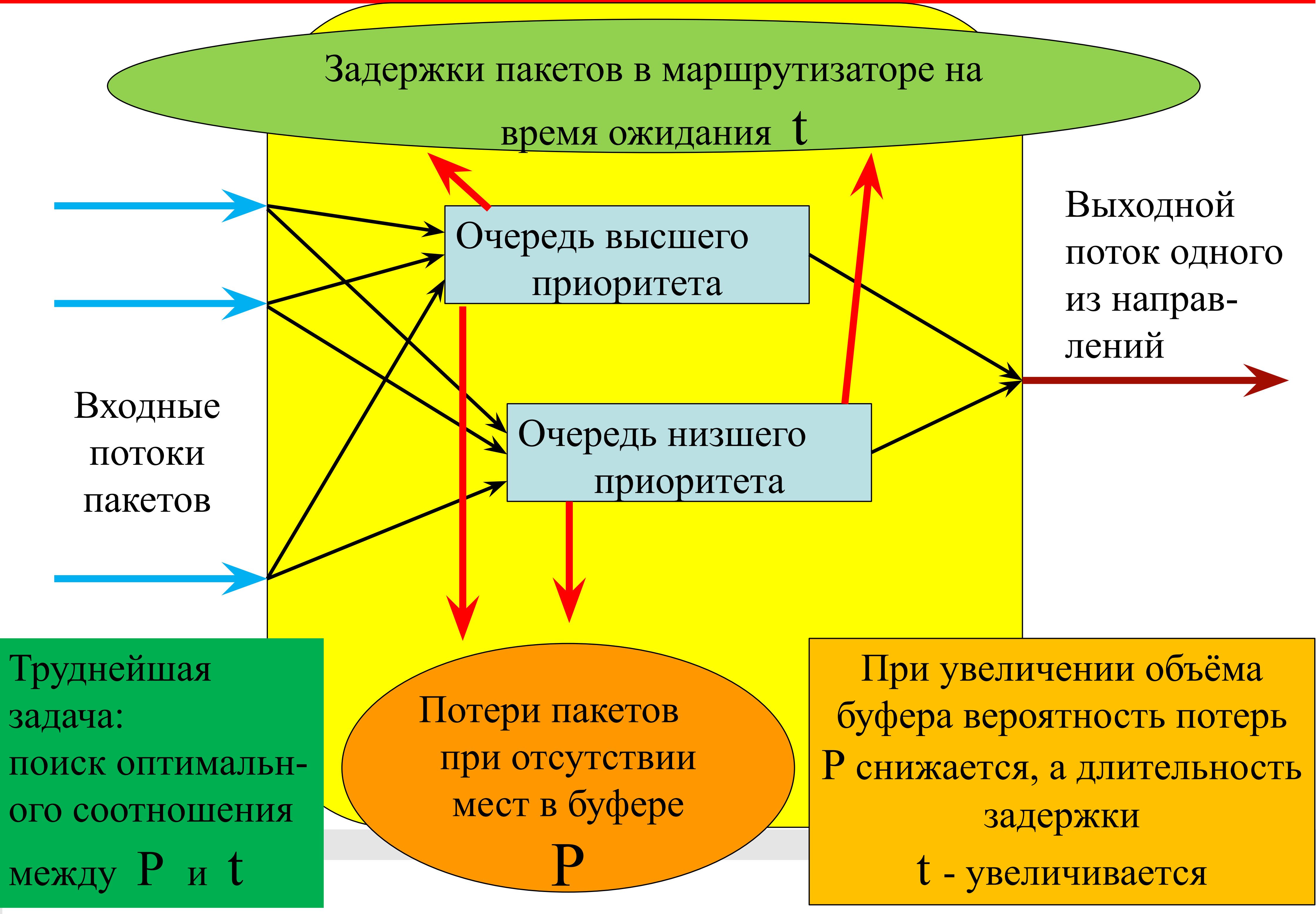
$t_{ожидания}$ – время ожидания пакета в очереди. Зависит от ситуации.

$t_{перемещения}$ – время перемещение пакета в узле; примем = 10 мкс.

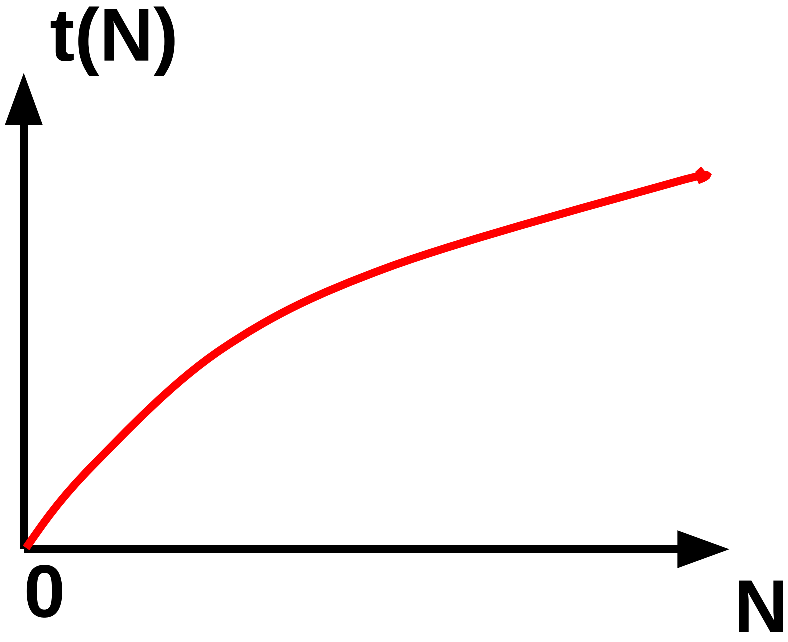
$t_{распростр}$ – время распространения ЭМВ по каналу = R/v.

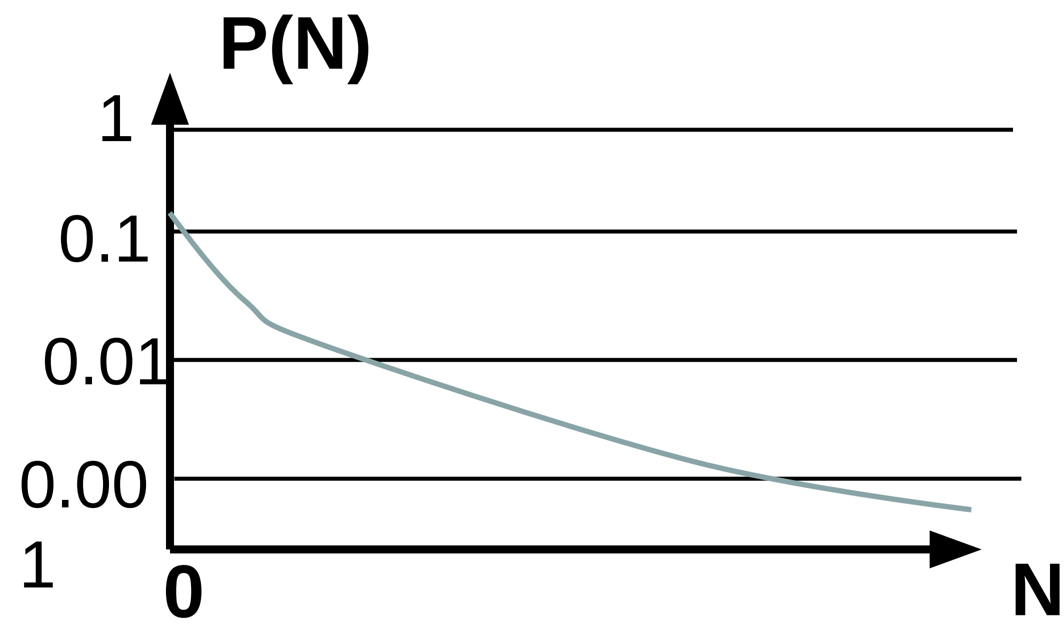
$t_{канала}$ – время передачи пакета по каналу передачи = 8 L/C.

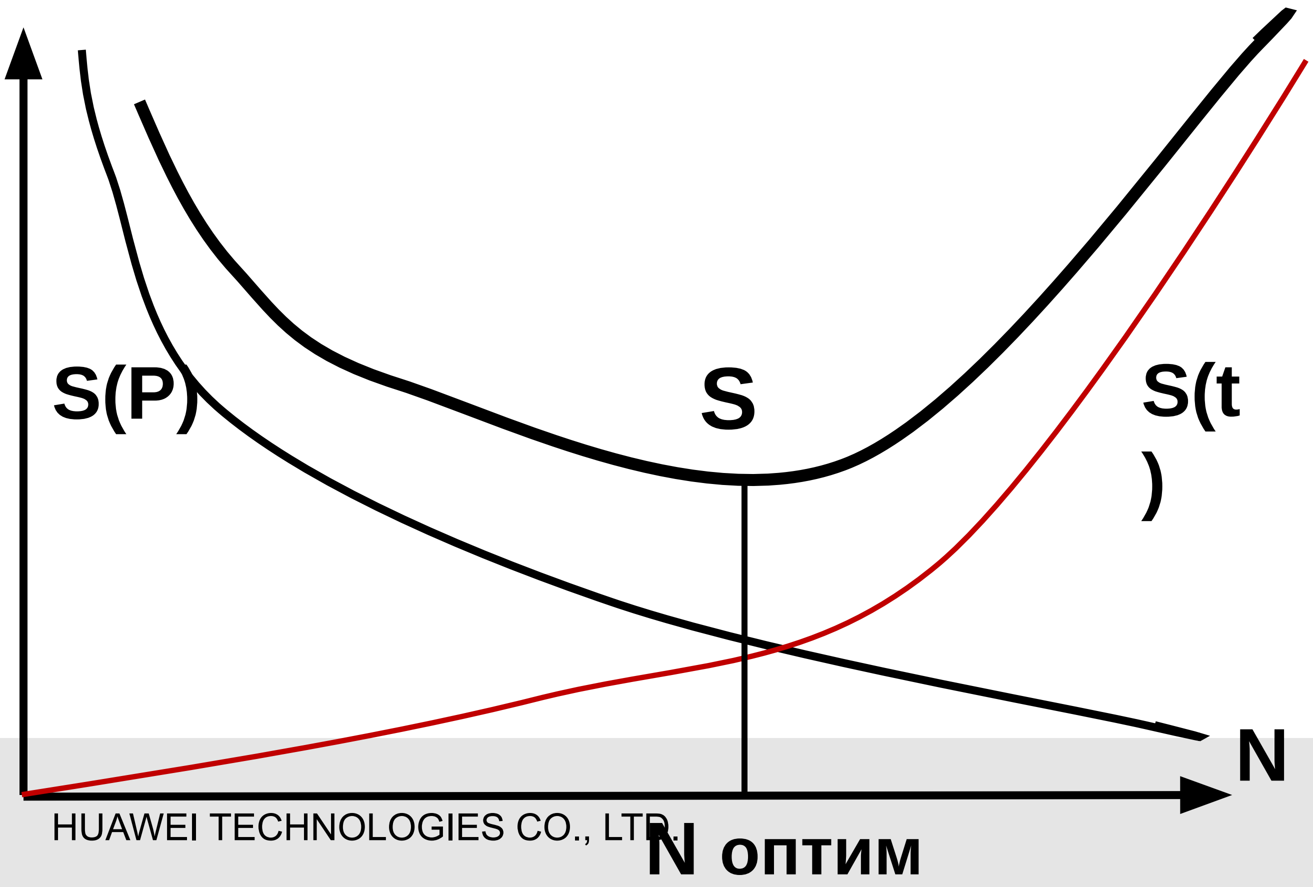
Основные параметры маршрутизатора пакетов (P и t)



Определение оптимальной длины буфера







N-объём буфера в маршрутизаторе
P-вероятность потери пакета
t-длительность задержки пакета в

Расчёт параметров маршрутизатора в системе M/G/1/∞

Средняя длина очереди $\square = \square + \square^2 \frac{1+C_s^2}{2(1-\square)}, \quad \square < 1$

где $\square = \frac{\square}{\square}$ - нагрузка системы массового.

$C_s^2 = 0$ для пост. длит. обслуж. $C_s^2 = 1$ для экспоненц. распр.

Тогда средняя длительность задержки определится как: $\square_{\square} = \frac{\square}{\square}$

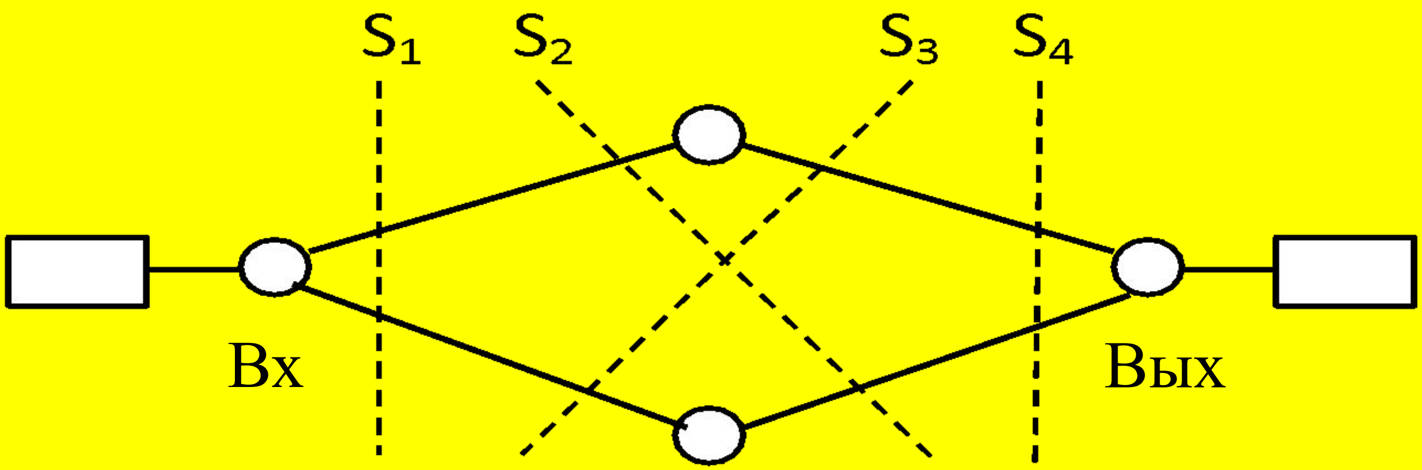
В системе M/M/1/N вер. переполнения памяти $\square_{\square} = \frac{1-\square}{1-\square^{\square+1}}\square^{\square}$

При значениях $\square^{\square} \ll 1$ можно использовать аппроксимацию $\square_{\square} \approx \square^{\square}$

Время задержки пакетов в сети и время доставки пакетов

Производительность ТК-сетей

1. Пропускная способность.



Максимальный поток между двумя узлами равен пропускной способности минимального сечения, разделяющего эти узлы: (Теорема Форда-Фалкерсона)

2. Задержка пакета в сети – время передачи пакета между входным и выходным узлами сети (от момента полной записи пакета в память входного узла до начала его выдачи из выходного узла)
3. Время доведения пакета (сообщения) – время передачи между абонентскими терминалами
4. Джиттер – вариации задержек по различным причинам (очереди к направлениям передачи в маршрутизаторах, изменение путей передачи пакетов в сети, отказы и др.)
5. Время реакции:

Треак = tрс подг + tкл-серв + tоч.серв + tобр.серв + tсерв-кл + tрс пр