Коммутация пакетов: модели с очередями

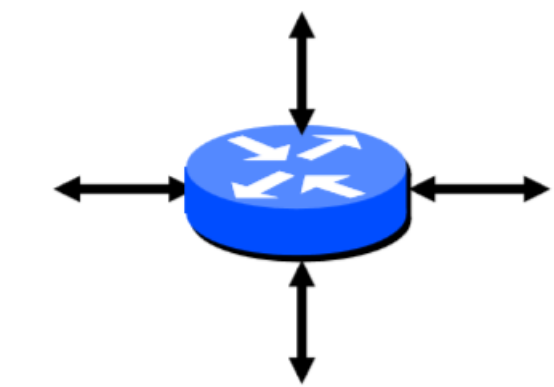
Введение в компьютерные сети

проф. Смелянский Р.Л.
Лаборатория Вычислительных комплексов
ф-т ВМК МГУ

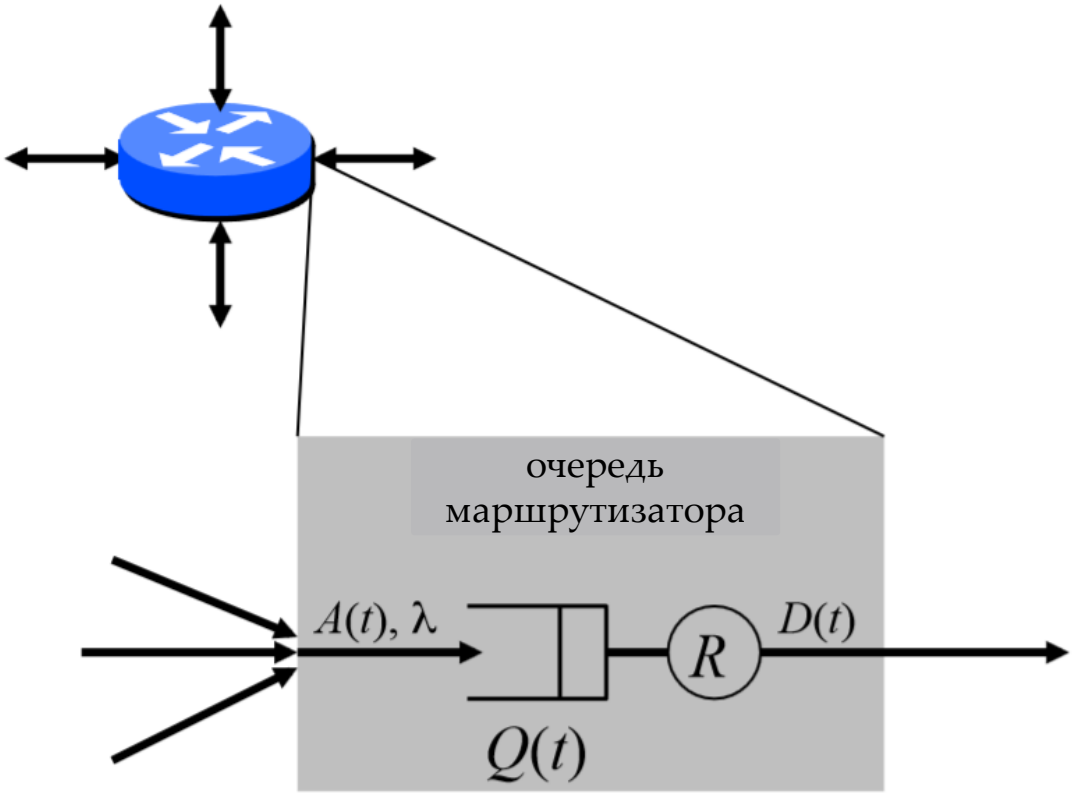
Содержание

- Простая модель с детерминированной очередью
- Сокращение e2e задержки за счет сокращения длины пакета
- Статистическое мультиплексирование

Простая модель очереди маршрутизатора



Простая модель очереди маршрутизатора

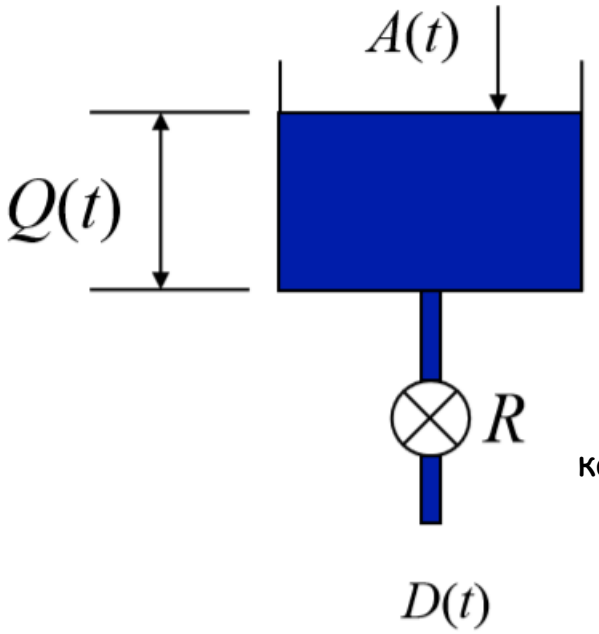


Свойства $A(t), D(t)$:

- $A(t), D(t)$ ***не возрастающие***
- $A(t) >= D(t)$

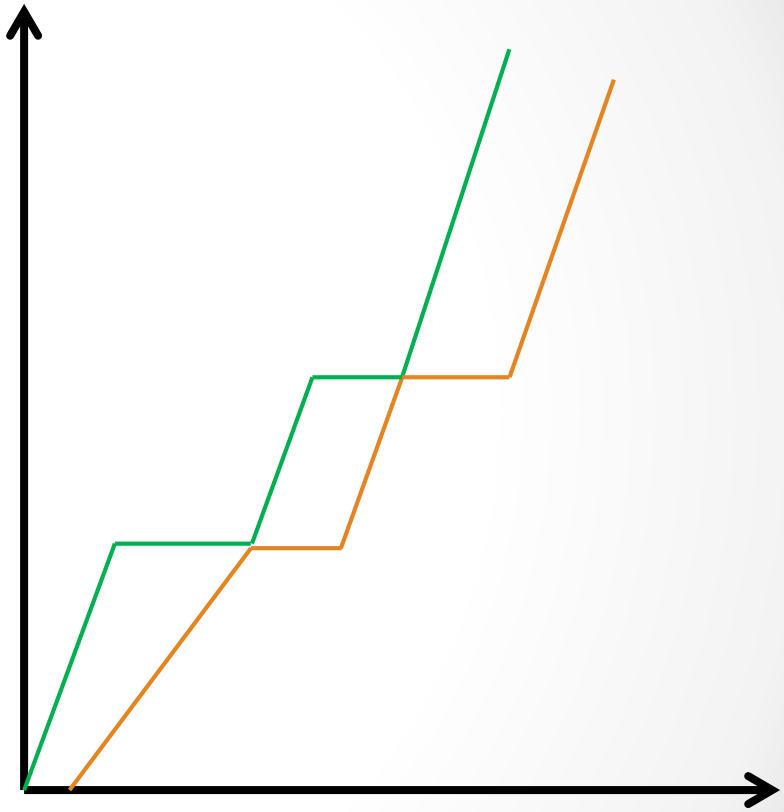
Простая модель очереди

Суммарное число байт поступивших к моменту времени t

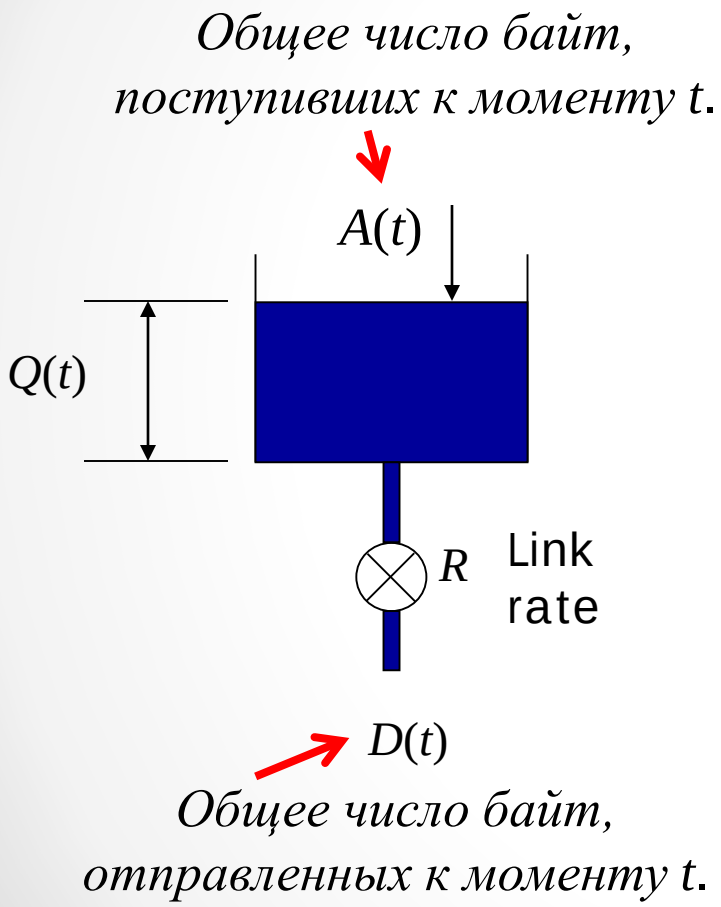


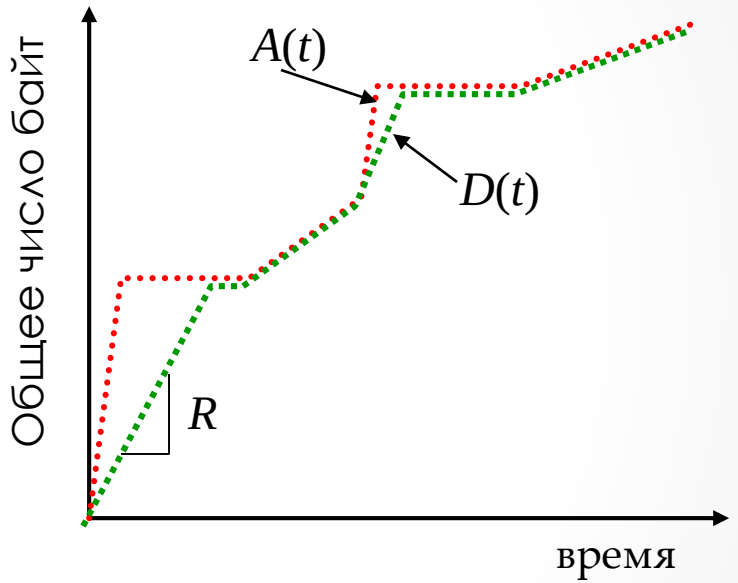
Суммарное число байт отправленных к моменту времени t

Пропускная способность канала (Link rate)



Простая модель очереди

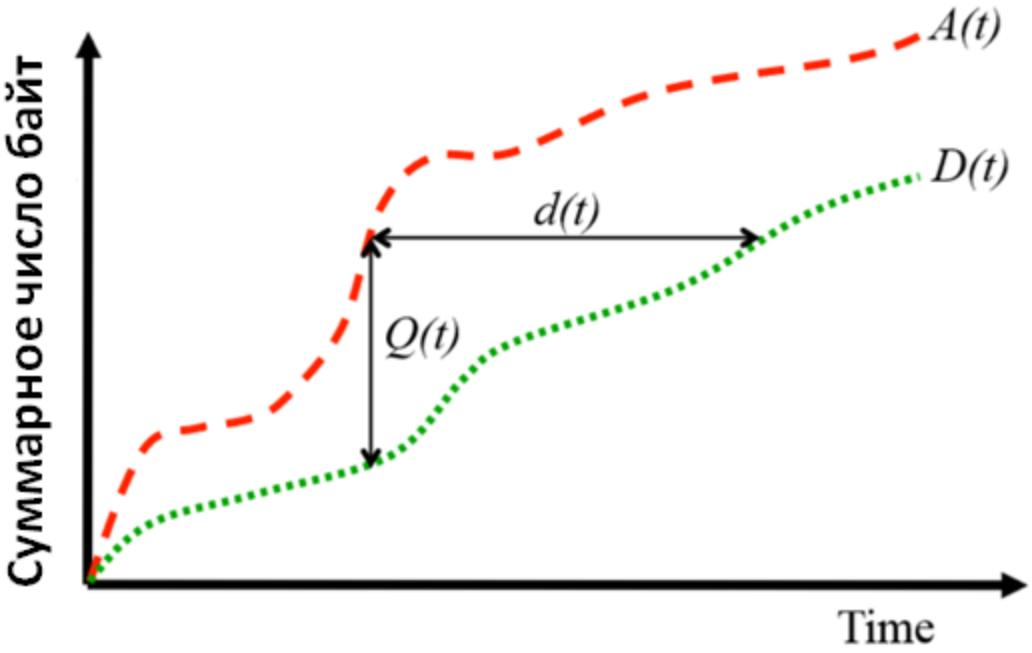




Свойства $A(t)$, $D(t)$:

- $A(t)$, $D(t)$ неубывающие
- $A(t) >= D(t)$

Простая модель очереди

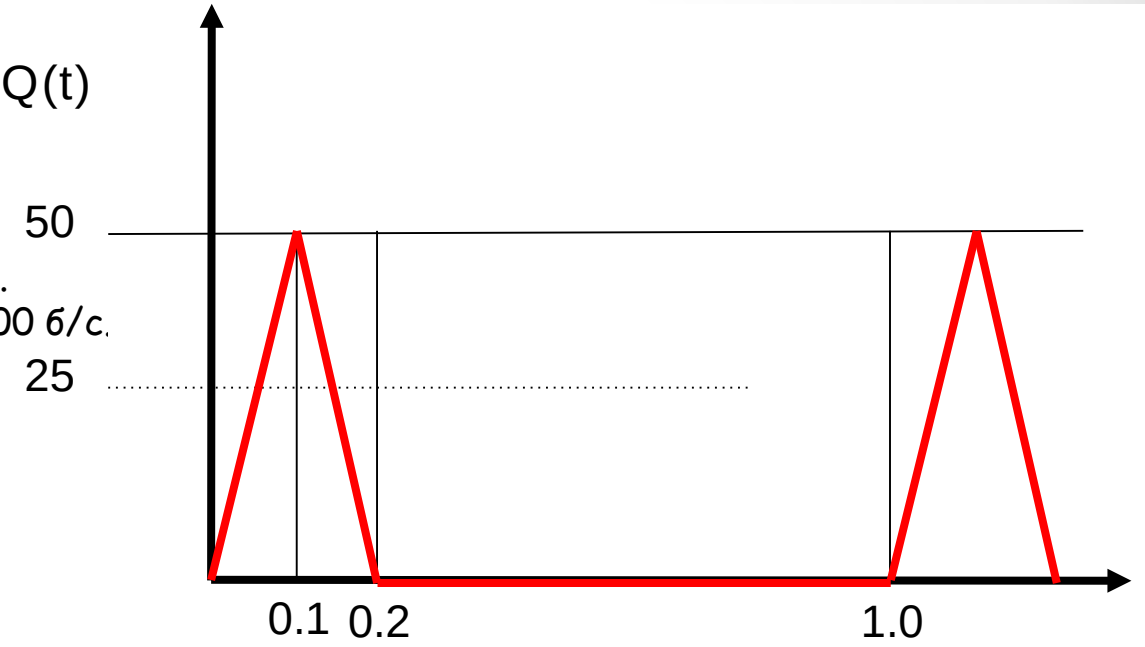


Длина очереди: $Q(t) = A(t) - D(t)$.

Задержка в очереди *d(t)* – время, которое байт, поступивший в момент *t*, пробыл в очереди, при условии что дисциплина очереди FIFO.

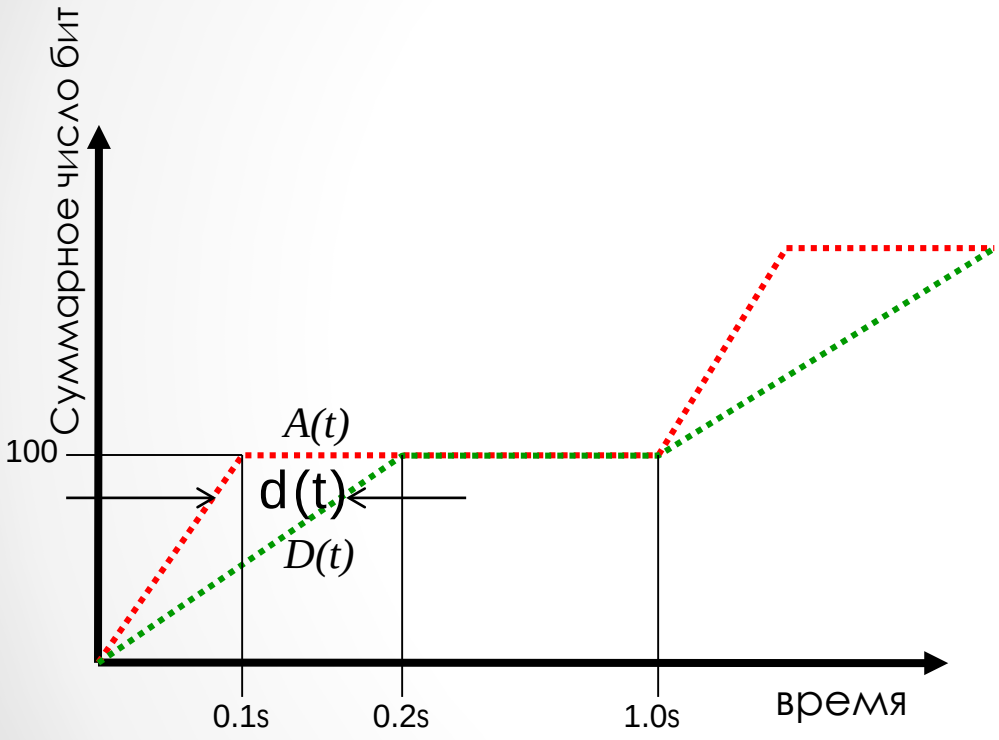
Простая модель очереди: пример (а)

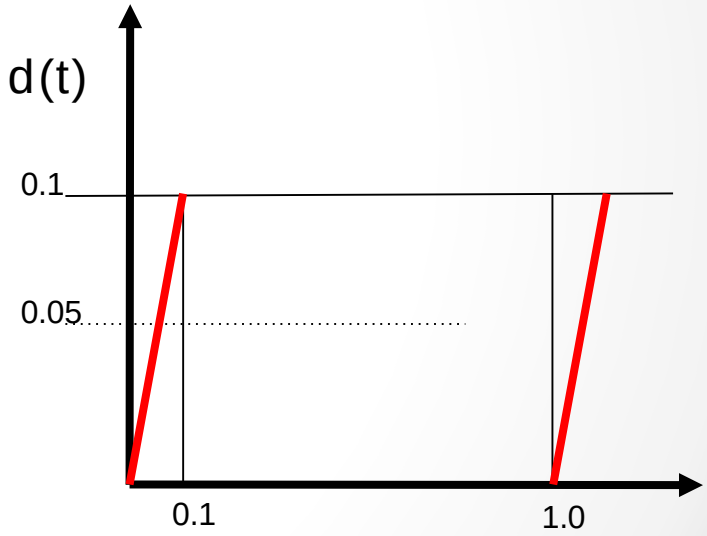
Каждую секунду в очередь поступает пакет в 100 бит на скорости 1 000 б/с.
Максимальная скорость отправки – 500 б/с.
Какова средняя длина очереди?



Решение: *на каждой секунде очередь заполняется со скоростью 100 б за 0.1 с.*
За следующие 0.1 с очередь освобождается со скоростью 500 б/с.
За первые 0.1 с поступит 100 б и уйдет 50 б, останется 50 б.
на второй 0.1 с поступит 0 б, уйдет 50 б, останется 0 б.
за последующие 0.8 с ничего не поступит и ничего не уйдет
следовательно среднее: (50+0)/2 + 0.8x0= 25 б

- (b) Какое время в среднем бит находится в очереди?



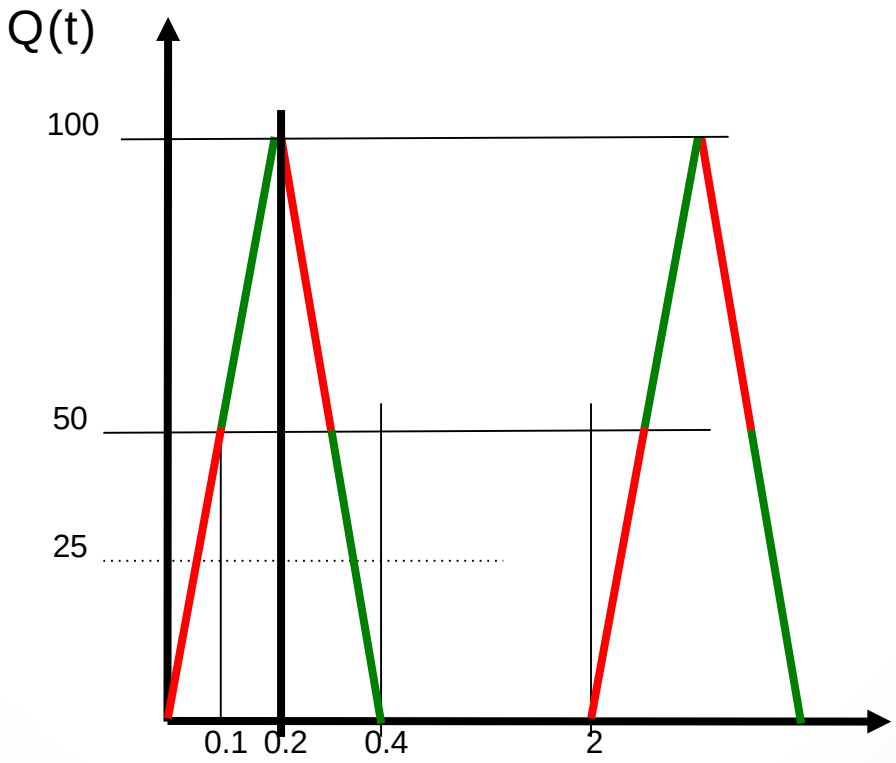


Задержка бита в среднем = 0.05с

(c) Если пакеты в 100 бит будут поступать через случайные интервалы времени, то по сравнению со случаем равномерного поступления таких пакетов средняя длина очереди будет такой же, короче или длиннее?

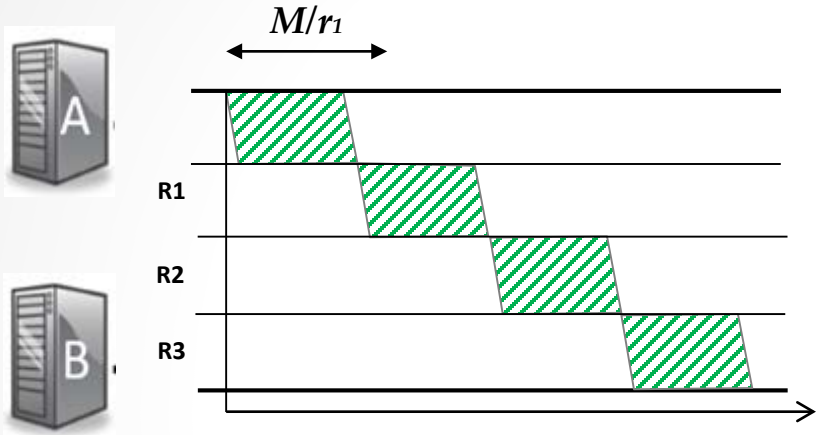
Длиннее. Когда пакеты поступают регулярно, как в случае (а), их биты никогда не находятся в очереди одновременно (не пересекаются). При случайном поступлении может оказаться так, что в очереди будут находится одновременно биты разных пакетов, увеличивая тем самым как время нахождения в очереди, так и длину самой очереди в среднем.

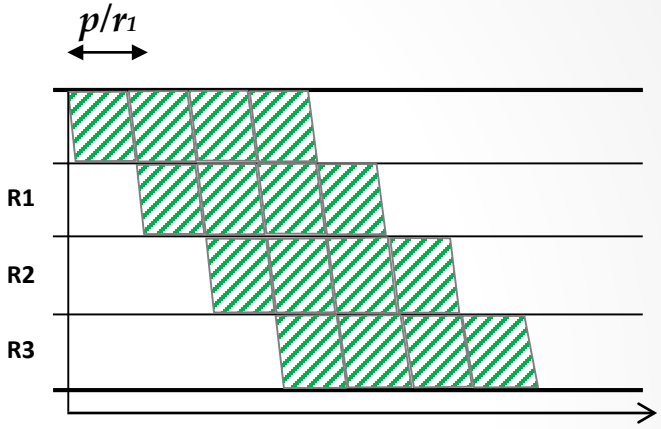
Случай c: Наложения пакетов увеличат среднюю длину очереди.



Средняя длина очереди = (1/2c) * ((0.4c * 50б) + (1.6c * 0б))
= 10 бит

Коммутация пакетов: почему много мелких пакетов лучше одного большого



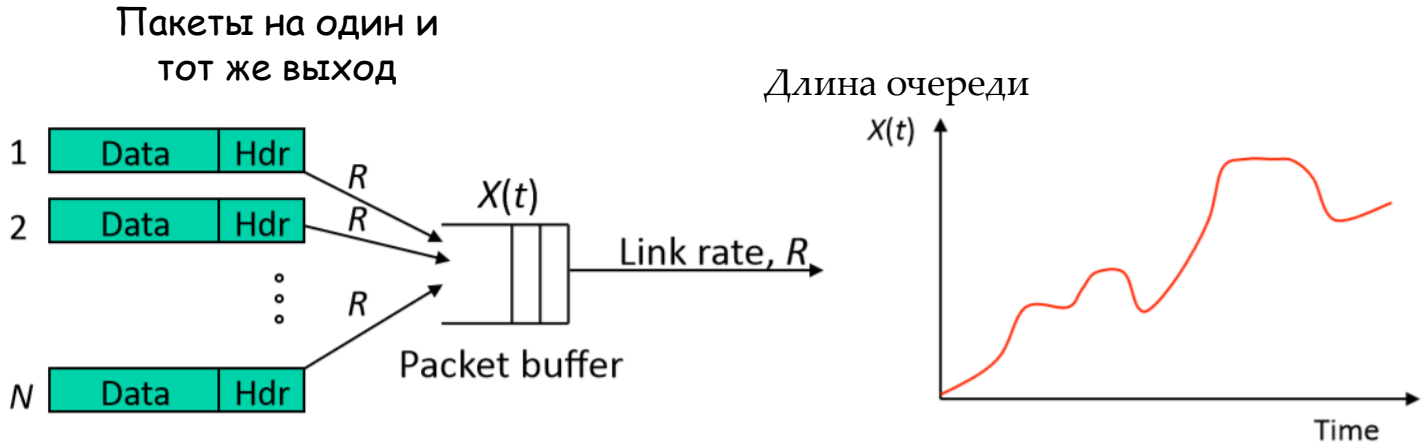


$$\text{End-to-end delay, } t = \sum_i \left(\frac{M}{r_i} + \frac{l_i}{c} \right)$$

$$\text{End-to-end delay, } t = \sum_i \left(\frac{p}{r_i} + \frac{l_i}{c} \right) + \left(\frac{M}{p} - 1 \right) \frac{p}{r_{\min}}$$

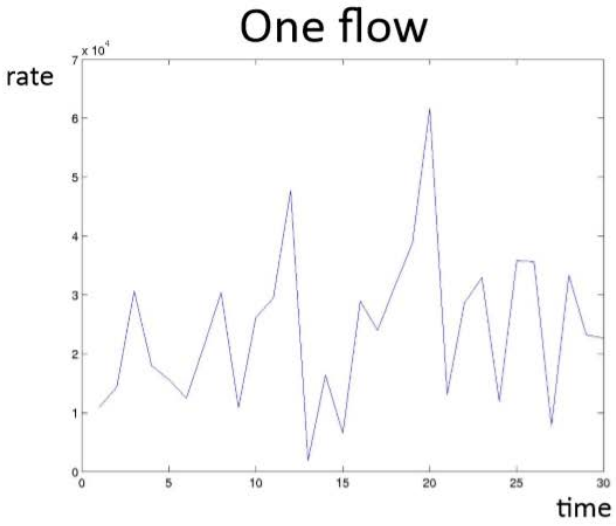
Разбиение сообщения на пакеты позволяет передавать их параллельно по всем линиям, сокращая e2e задержку.

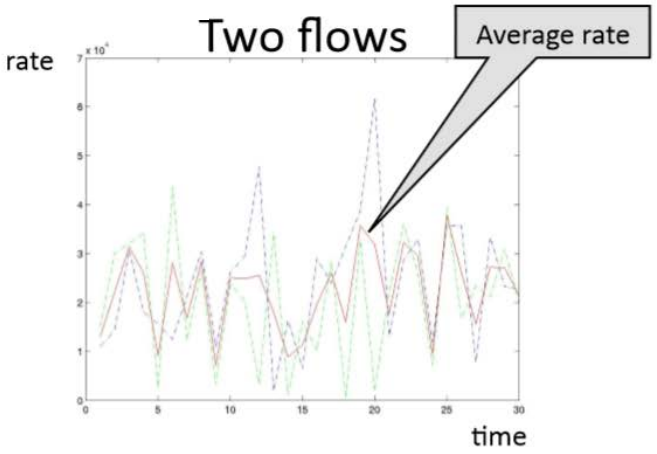
Коммутация пакетов: статистическое мультиплексирование

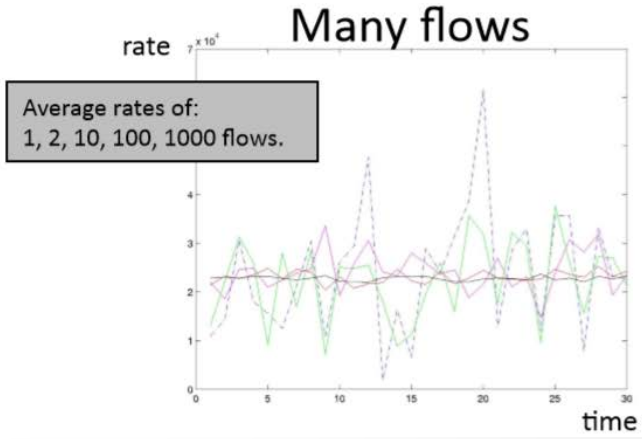


- Поскольку буфер сглаживает временные всплески (короткие периоды, когда скорость превышает *R*), то на выходе канал может работать с меньшей скоростью, чем *NxR*
- Поскольку размер буфера ограничен *B*, то возникнут потери.

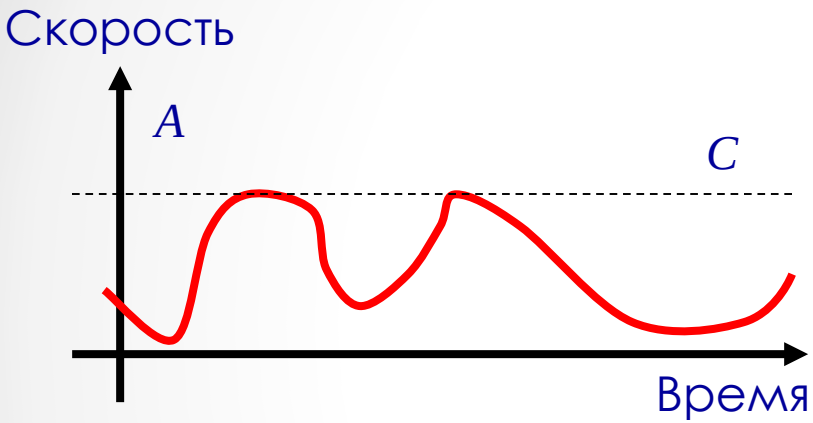
Коммутация пакетов: статистическое мультиплексирование

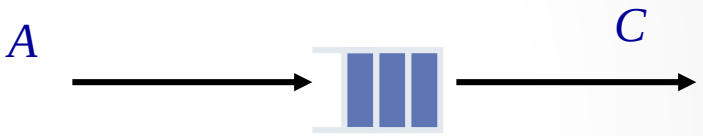


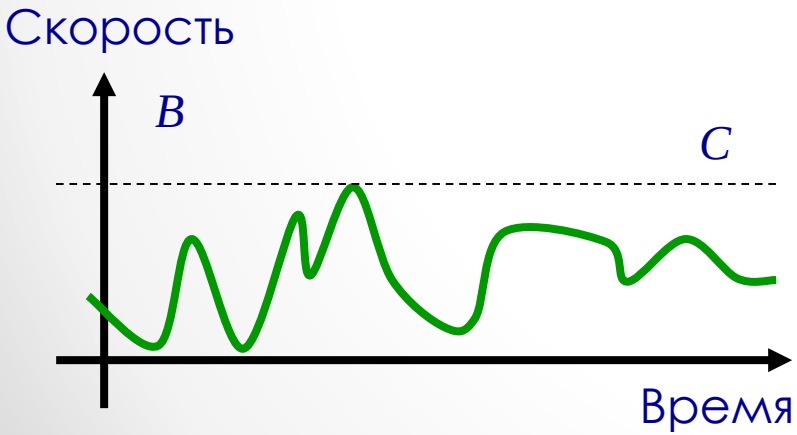


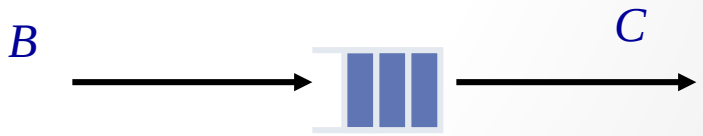


Коммутация пакетов: статистическое мультиплексирование

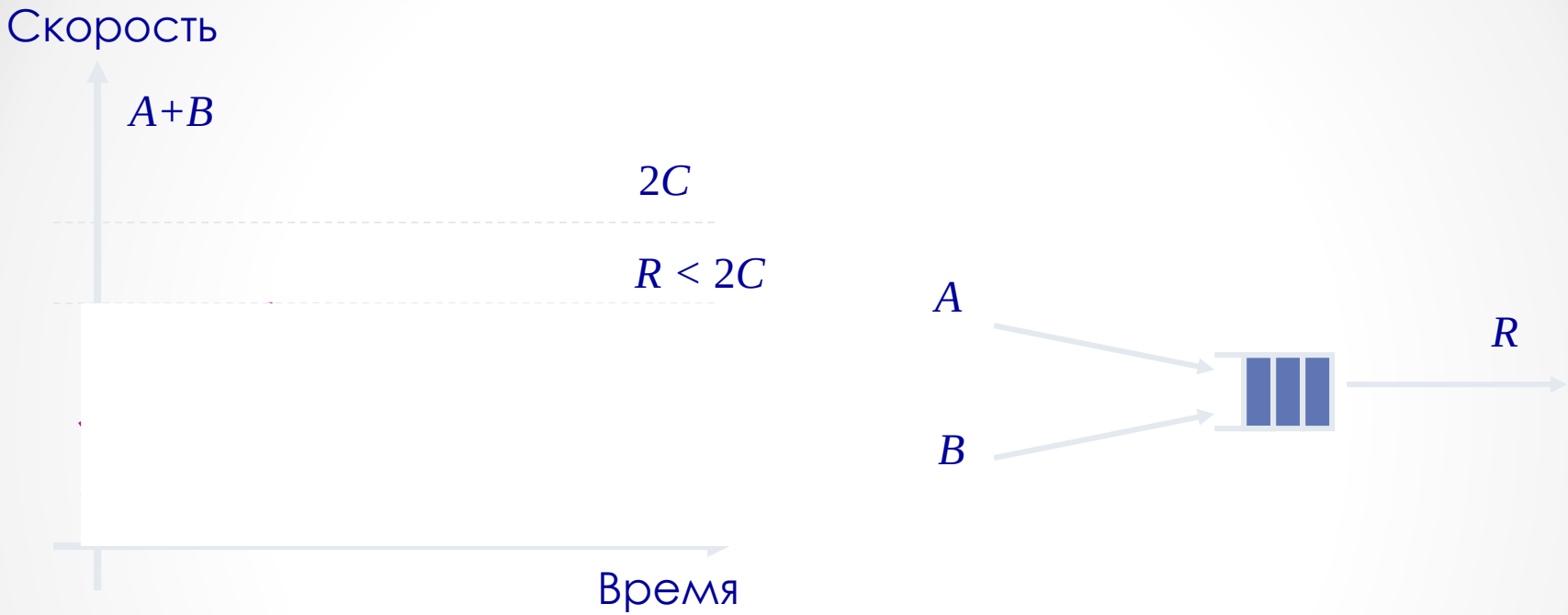








Коммутация пакетов: статистическое мультиплексирование



Выигрыш от статистического мультиплексирования = $2C/R$

Коммутация пакетов: простая модель с очередями

- Для понимания динамики пакетов в сети вполне подходит простая детерминированная модель.
- Разбиение сообщения на пакеты позволяет нам параллельно передавать несколько пакетов, сокращая e2e задержку.
- Статистическое мультиплексирование позволяет передавать несколько потоков через один и тот же канал

Свойства очередей

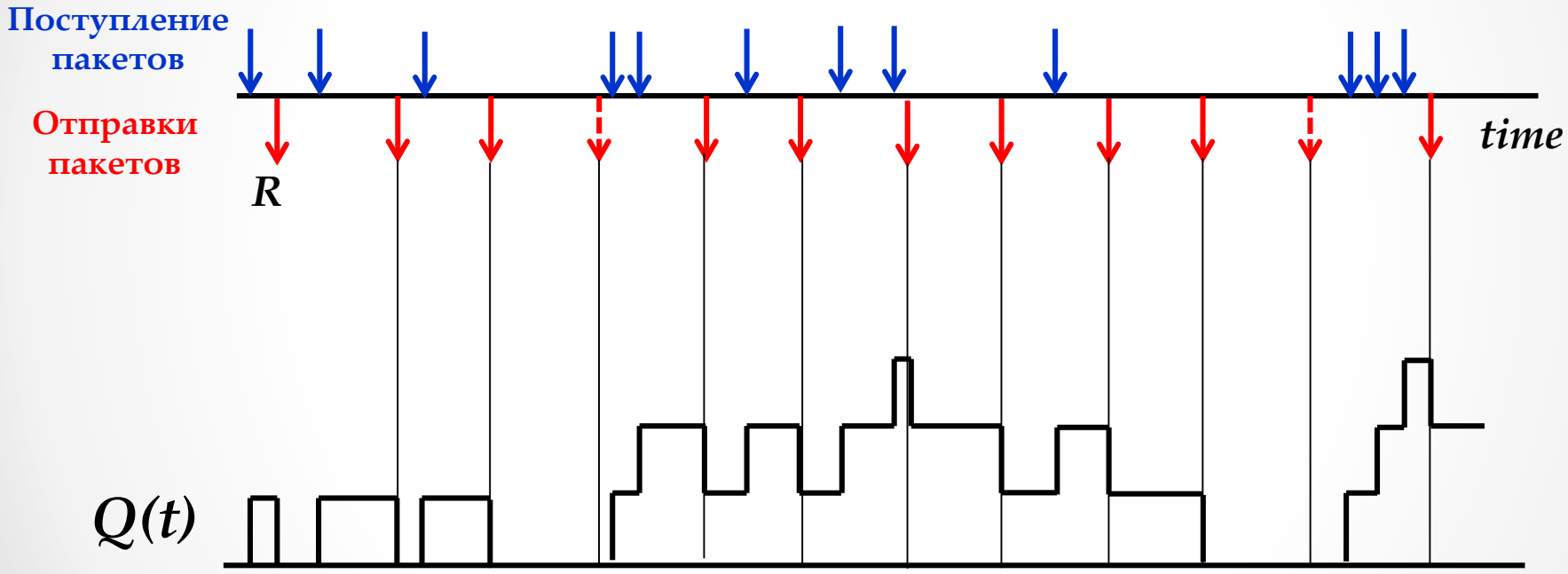
Введение в компьютерные сети

проф. Смелянский Р.Л.
Лаборатория Вычислительных комплексов
ф-т ВМК МГУ

Очереди со случайным процессом поступления

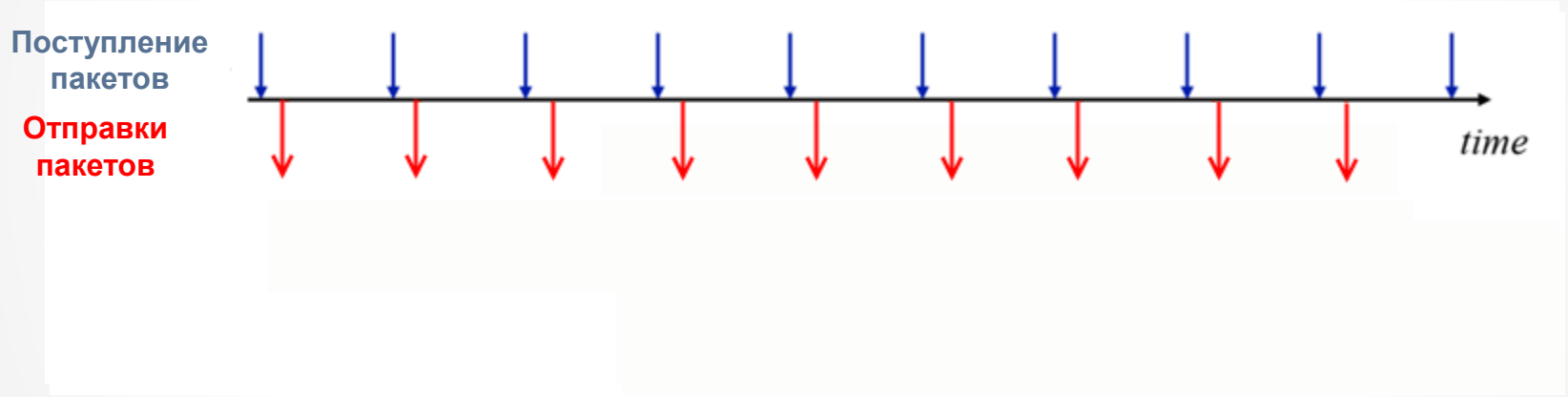
- *Обычно процесс поступления пакетов сложен и трудно предсказуем Поэтому его часто моделируют случайным процессом.*
- *Изучает очереди с такими процессами Теория Очередей (Queuing Theory – теория массового обслуживания).*
- *Здесь мы рассмотрим некоторые свойства таких очередей.*

Эволюция очереди со временем



Свойства очередей: нерегулярность увеличивает задержку

Периодические одиночные поступления

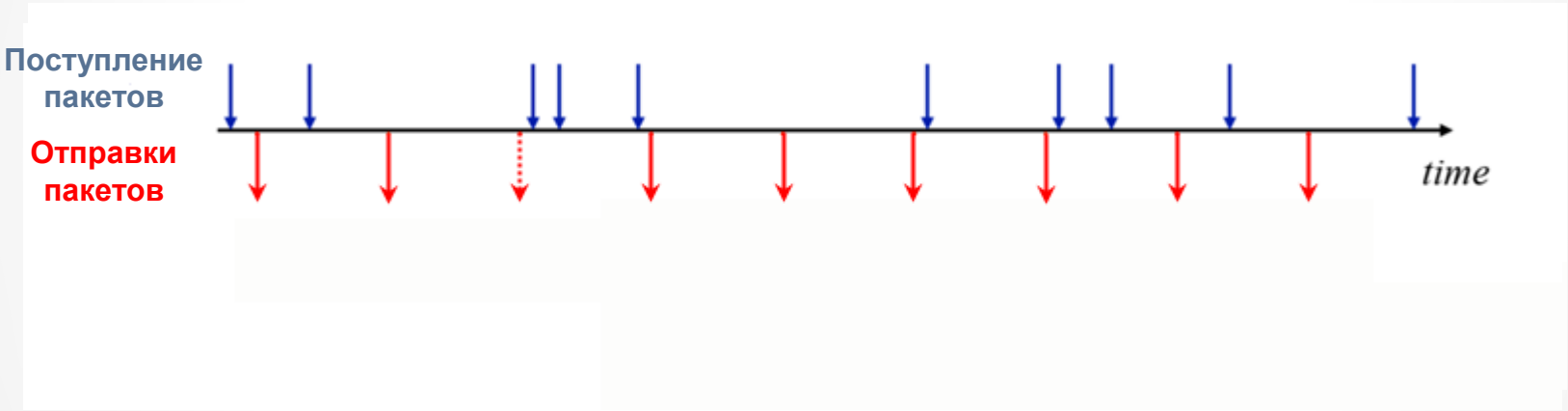


Свойство 1 очередей: нерегулярность увеличивает задержку

Периодические множественные поступления

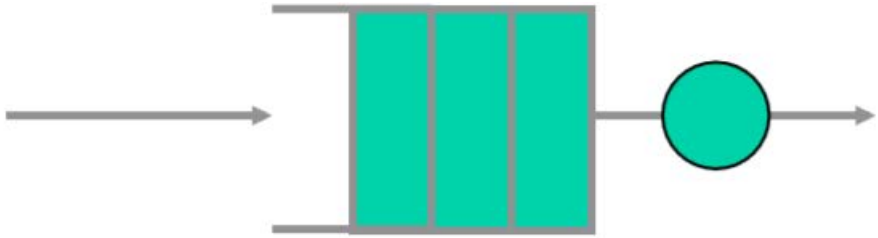
Свойство 2 очередей: случайность увеличивает задержку

Случайное поступления



При случайном поступлении пакетов в среднем в очереди приходиться ждать дольше, чем при регулярном

Свойство 3: Формула Литтла



$$L = \lambda d$$

L - среднее число заявок в системе (в очереди + в обслуживании)
λ – средняя скорость поступления заявок в секунду
d – средне время пребывания заявки в системе (в очереди + в обслуживании, т.е. задержка)
Это свойство верно если ни одна заявка не теряется/сбрасывается

Пуассоновский процесс

- *Процесс поступления является Пуассоновским если:*
  - *Вероятность поступления k заявок за t секунд*

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}$$

  - *Интервалы между последовательными поступлениями независимы (нет регулярности)*
- *Тогда число заявок поступивших за время t* **Свойство 4**

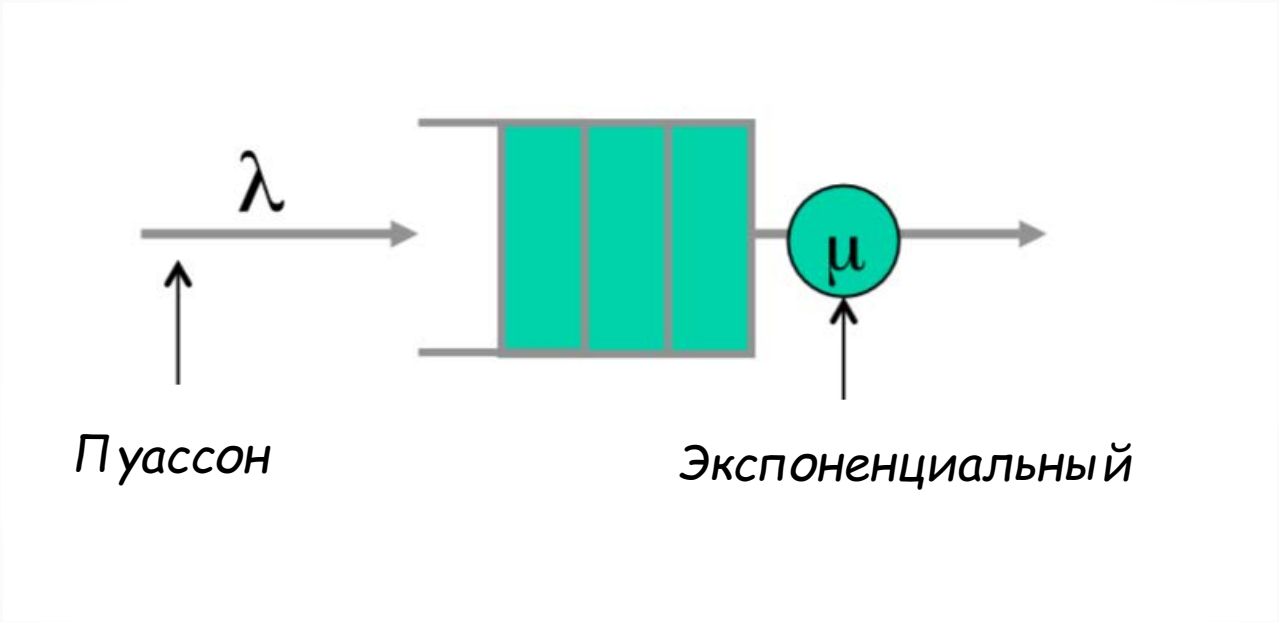
$$E = \lambda t$$

- *Пуассоновские процессы хорошо моделируют многие случайные процессы (телефонные звонки, распад частиц, шумы в электрических цепях и т.д.)*
- *Удобный математический аппарат*

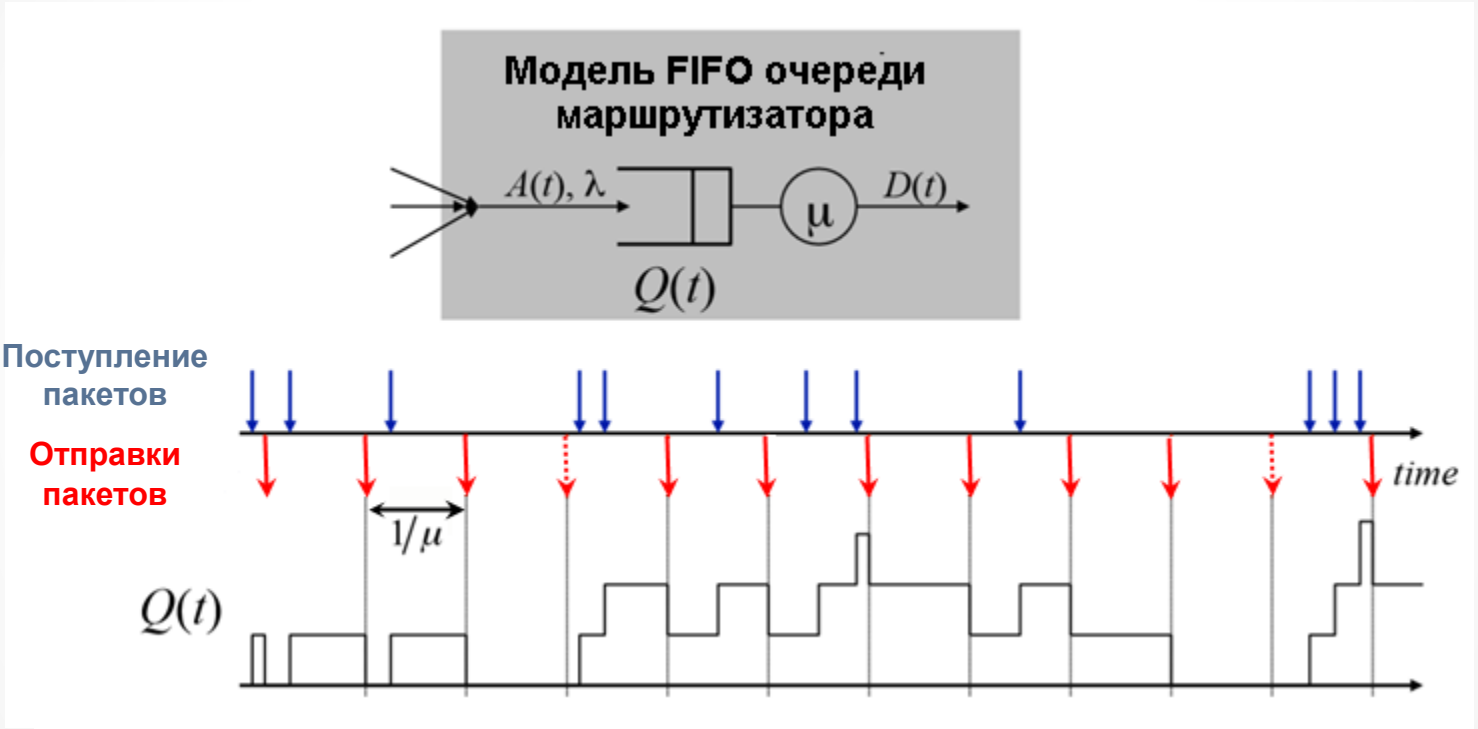
Пуассоновский процесс

- *Сетевой трафик очень не регулярный*
- *Поступление пакетов не является Пуассоновским процессом*
- *Вполне подходит для моделирования поступления новых потоков*

Простая модель очереди



Модель очереди в маршрутизаторе



Свойства очередей

- Свойства очередей:
  - Нерегулярность увеличивает задержку
  - Формула Литтла: $L = \lambda d$

- *Поступление пакетов не Пуассоновский процесс, но такие процессы как поступление web запросов, новых потоков, могут быть описаны как Пуассоновские процессы*
- *M/M/1– простая модель очереди*