

# Производительность алгоритма «Предотвращение насыщения» протокола ТСР

О. Ю. Богоявленская

*Петрозаводский государственный университет*



**Ключевые слова:** транспортный протокол, производительность, марковский процесс

# Производительность ТСП

## Актуальность проблемы:

- Задачи распределенного управления трафиком являются одними из важнейших в современных сетях передачи данных.
- Управление осуществляется протоколами транспортного уровня (напр. ТСП), которые формируют качественные и количественные характеристики потоков данных.
- Новые приложения требуют новых средств управления и методов проектирования.

## Решение задачи - залог успеха в сл. областях :

- Передача данных по радиоканалам
- Мультимедиа приложения, распределенные вычисления и обработка данных
- «Традиционный» networking

# Производительность ТСР

Краткий анализ предыдущих работ



Ограничения моделей

- Процесс потери пакетов (детерминированный, процесс Бернулли, процесс Пуассона )
- Неограниченный рост скользящего окна
- Round trip time – детерминированная константа
- Неограниченный рост пропускной способности

Результаты

- Оценки мат. ожидания пропускной способности
- Оценка дисперсии пропускной способности для специальных условий



# Производительность ТСР

## Цель работы

- Анализ алгоритма ЛРСУ (AIMD), как основного управляющего алгоритма современных реализаций протокола ТСР.
- Получение основных характеристик производительности алгоритма ЛРСУ.

## Основные результаты

- Построена математическая модель алгоритма ЛРСУ
- В явной аналитической форме получено распределение характеристики пропускной способности алгоритма.
- Получено распределение скользящего окна алгоритма ЛРСУ и найдено его представление в простой рекуррентной форме.

# Производительность ТСР

- Основные методы исследований

В работе использованы методы теории вероятностей, теории случайных марковских процессов, теории массового обслуживания и теории передачи данных.

- Научная новизна

Разработанная модель протокола и полученные на ее основе распределения скользящего окна протокола и его пропускной способности являются новыми. Указанные распределения получены впервые.

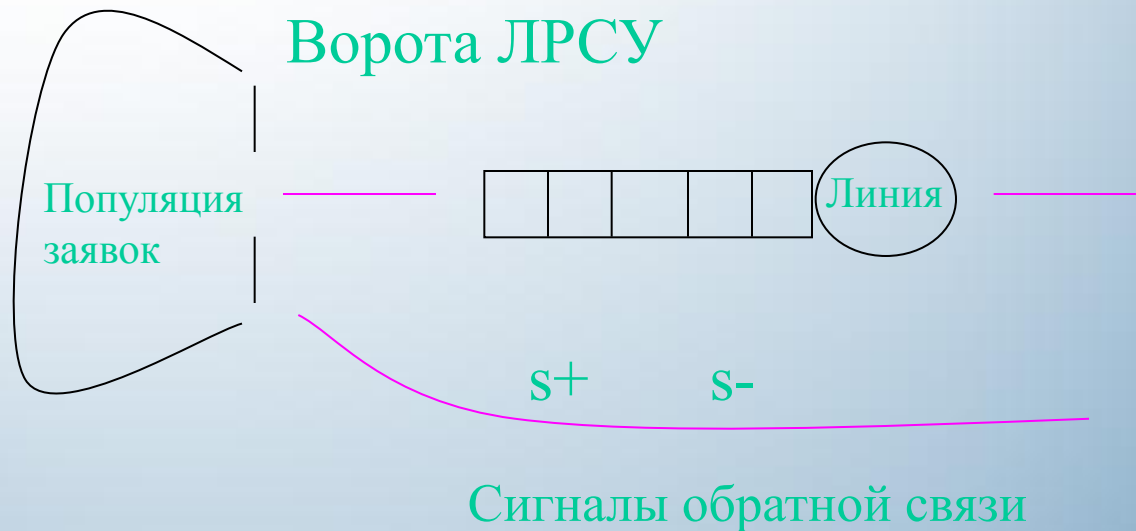
# Описание модели

## Основные предположения

- В каждом раунде потери сегментов ТСР происходят независимо с вероятностью  $p$ .
- Рост размера скользящего окна ограничен известной конечной величиной  $w_{\max}$ .
- Пропускная способность, которую может развить соединение ограничена сверху –  $L$ .
- Рассматривается только алгоритм ЛРСУ.
- Двойная длина пути (ДДП - RTT) является случайной величиной, которая может зависеть от размера скользящего окна. Ее функция распределения известна.

# Поведение отправителя ТСР

$$W/2 \text{ — } W \text{ — } W+1/W$$





# Описание модели

## Основные определения

$w(t)$  - размер скользящего окна

$\tau_i$  - момент изменения целой части  $w(t)$

$w_i = w(\tau_i)$  марковская цепь

$\{w(t)\}_{t>0}$  полумарковский случайный процесс

Пусть  $P_w(t) = P(w(t) = w)$  и  $\alpha_w = E(\tau_{i+1} - \tau_i | w(\tau_i) = w)$

Обозначим  $\delta_w$  ДДП при размере скользящего окна  $w$ ,  $R_w(t)$  - его ФР

$L$  - предел пропускной способности маршрута,  $t_0 = 1/L$

$\pi_w$  - стационарное распределение цепи  $\{w_i\}$



# Описание модели

## Размер скользящего окна

*Теорема 1.* Если  $\delta_w$  имеют конечные математические ожидания, то

$$P_w(t) \xrightarrow{t \rightarrow \infty} \frac{\alpha_w \pi_w}{\sum_{i=2}^{w_{\max}} \alpha_i \pi_i}$$

Здесь  $\pi_w$  - решение соответствующей системы уравнений Колмогорова, которое найдено нами в простой рекуррентной форме.

$$\alpha_w = \int_{wt_0}^{\infty} t dR_w(t) + wt_0 R_w(wt_0)$$

\*

# Описание модели

## Размер скользящего окна

*Теорема 2.* Распределение  $\pi_w$  удовлетворяет соотношениям

$$\pi_i = \pi_j K_i,$$

где

$$K_{w_{\max}} = \frac{F_{w_{\max}-1}}{1 - f_{w_{\max}}},$$

$$K_i = F_{i-1}, \quad j < i < w_{\max}$$

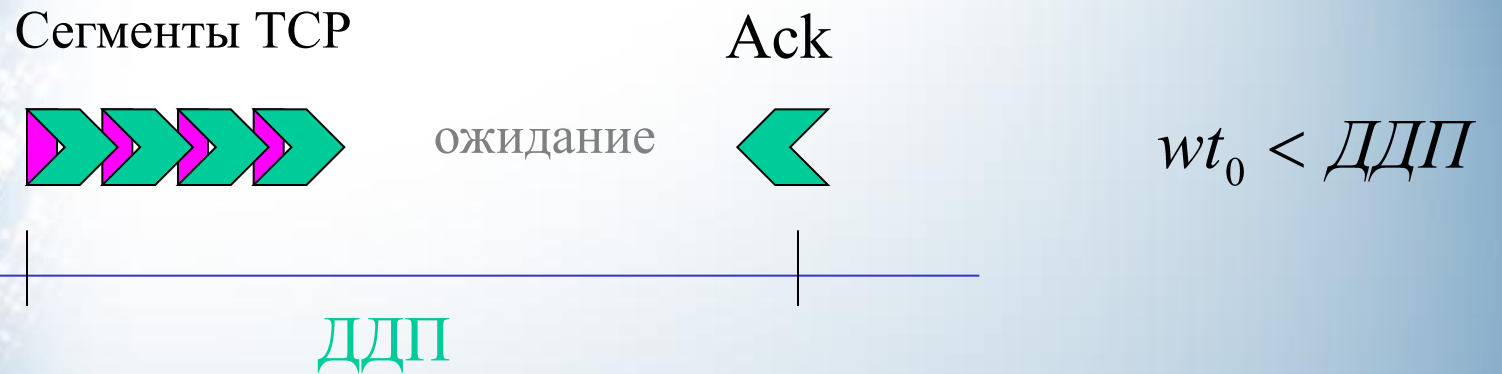
$$K_{i-1} = \frac{1}{f_{i-1}} (K_i - (K_{2i}(1 - f_{2i}) + K_{2i+1}(1 - f_{2i+1}))) \quad i < j.$$

Здесь  $f_i$  и  $F_i$  являются функциями  $p$ ,

$$\text{и } j = \lfloor w_{\max} / 2 \rfloor$$

# Описание модели

## Пропускная способность



# Описание модели

## Пропускная способность

$N(t)$  число сегментов ТСП, отправленных к моменту  $t$ .

Определим пропускную способность как

$$T = \frac{N(\tau_{i+1}) - N(\tau_i)}{\tau_{i+1} - \tau_i}.$$

Если  $x < L$ , то  $T$  удовлетворяет функции распределения

$$F_T(x) = P(T < x) = P(w = 2)P(RTT > 2/x) + P(w = 3)P(RTT > 3/x) + \dots \\ + P(w = w_{\max})P(RTT > w_{\max}/x)$$

ИЛИ

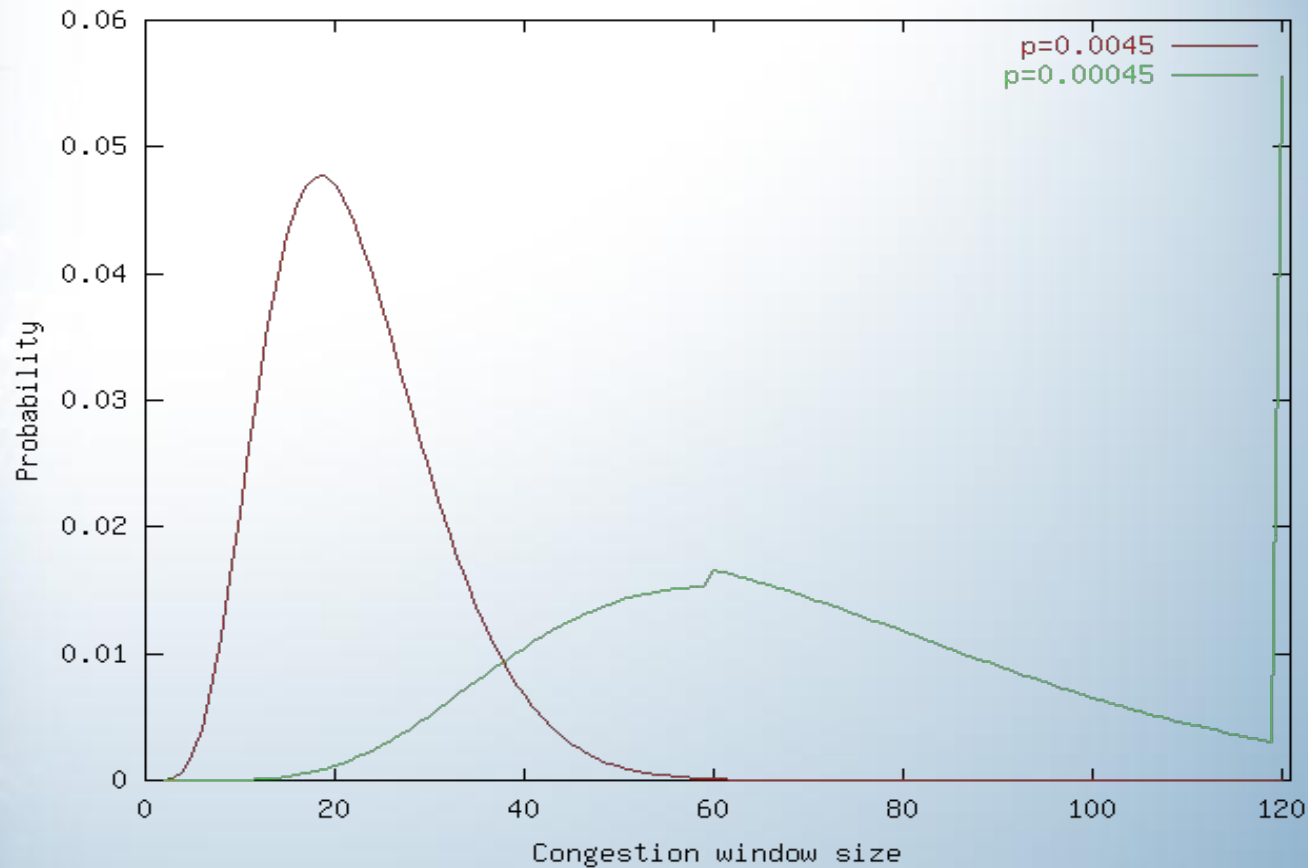
$$F_T(x) = 1 - \sum_{w=2}^{w_{\max}} P_w R_w \left(\frac{w}{x}\right) \text{ и } F_T(L) = 1$$



# Области применения

- Анализ производительности и планирование мощности подсетей Интернет.
- Стохастическое управление QoS (на уровне администраторов подсетей и на уровне маршрутизаторов)
- Идентификация недружественных TSP потоков
- Управление трафиком и разработка новых протоколов

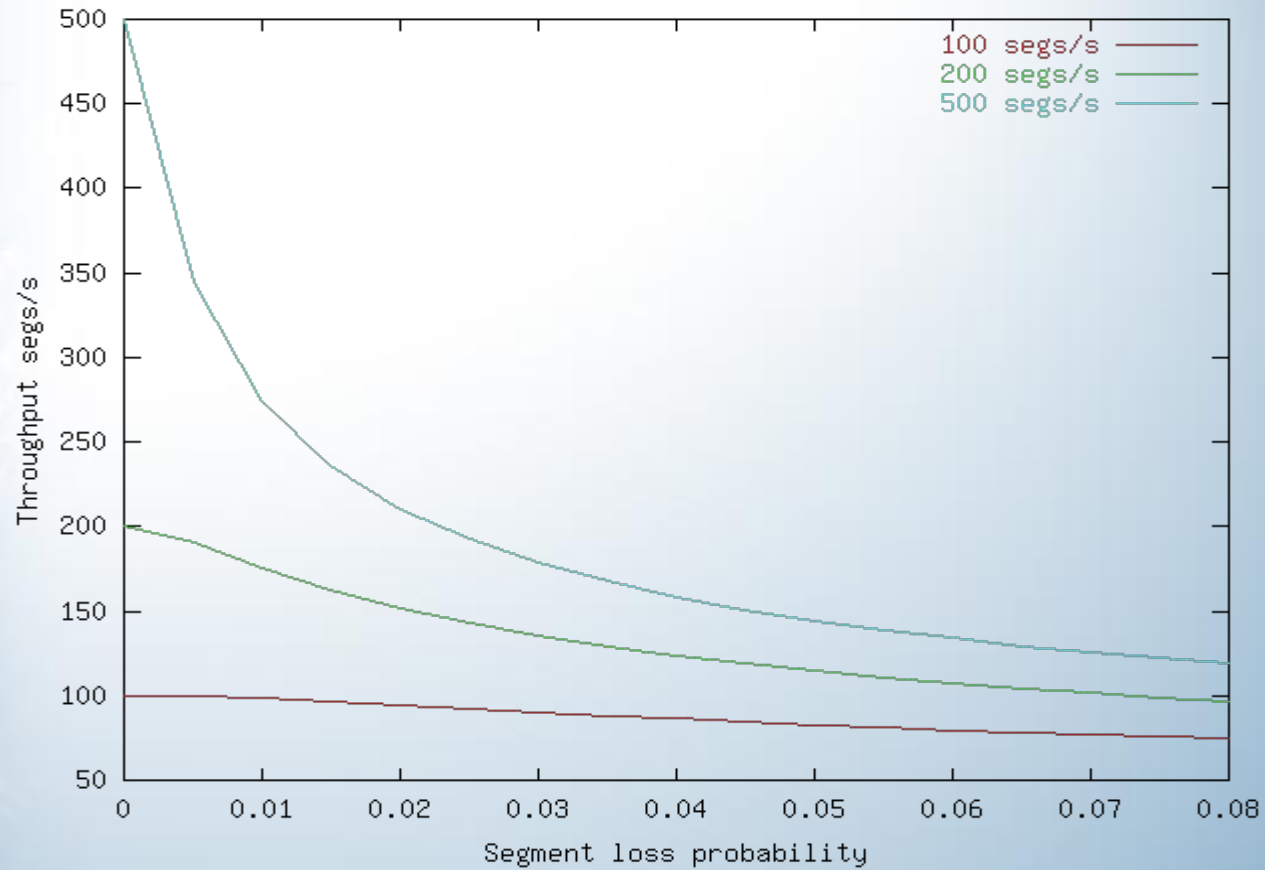
# Численные примеры



Размер скользящего  
окна.  $W_{\max}=120$  сег.

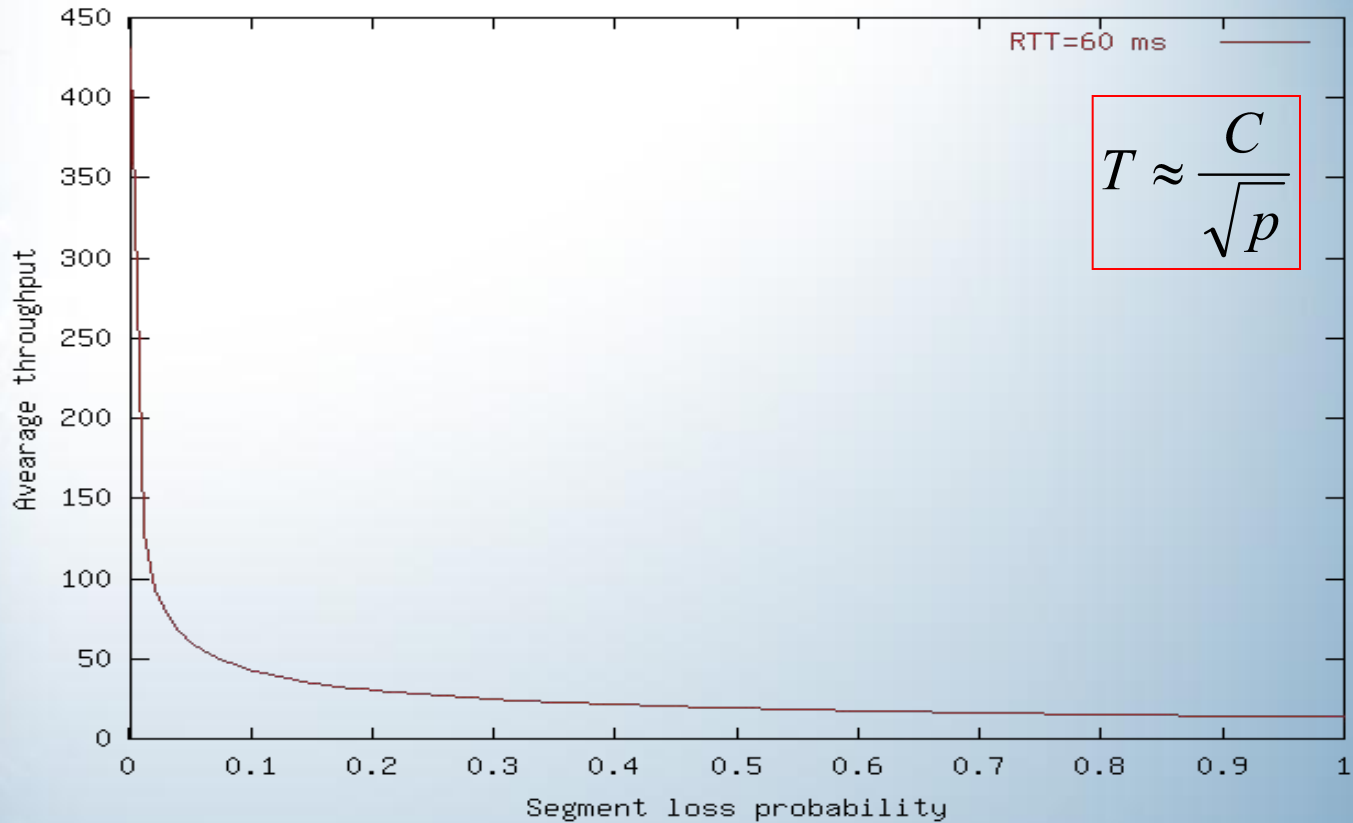
\*

# Численные примеры



Мат. ожидание пропускной способности ТСР.  $W_{\max}=70$  сег.

# Численные примеры

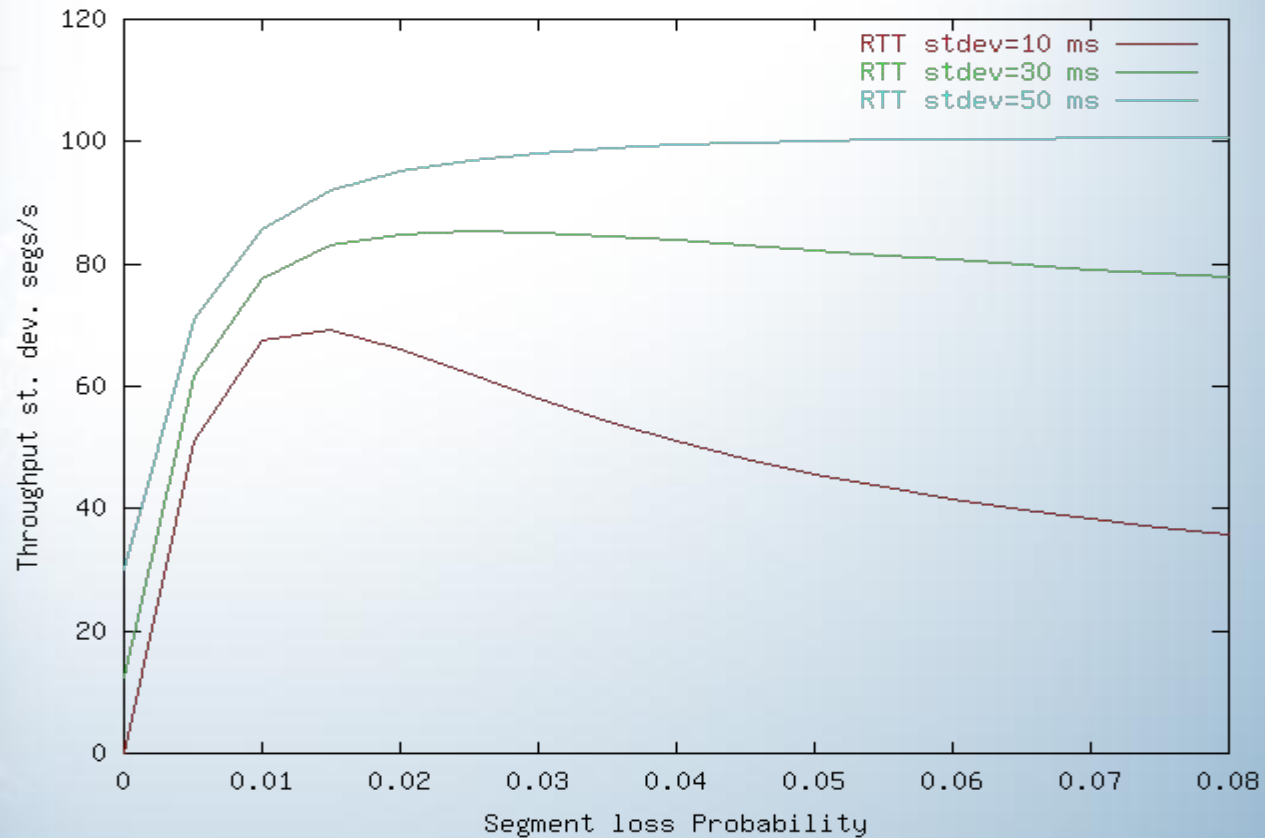


Закон «квадратного корня» для  
пропускной способности TCP  
(S. Floyd, D. Towsley и др.)

\*



# Численные примеры



Влияние ср.-кв. откл. ДДП на ср.-кв. откл. пропускной способности. Мощность канала 300 сег/с,  $W_{max}=50$  сег.

\*

# Модель производительности ТСП и управление QoS стохастических виртуальных каналов

- СВК (DiffServ, MPLS, ATM, ) определяет параметры модели производительности ТСП для классов приложений.
- Текущий анализ производительности:
  - моменты и квантили размера скользящего окна;
  - моменты и квантили пропускной способности;
  - **стохастическое управление QoS**

# Модель производительности ТСП и управление QoS стохастических виртуальных каналов

- Планирование мощности развивающейся системы
  - эволюция производительности подсети в связи с эволюцией ее нагрузки и оборудования
- «Обратная задача» планирования мощности

# Заключение

- В работе построена **новая модель** алгоритма ЛРСУ протокола ТСР на основе которой **впервые получены** в явной аналитической форме **распределения** размеров скользящего окна и пропускной способности ЛРСУ.
- Разработанная модель обладает рядом важных преимуществ по сравнению с ранее опубликованными в литературе результатами. В ней **устранен ряд ограничений** на свойства ДДП, схему эволюции окна протокола и процесс потерь сегментов.



# Заключение

- Полученные результаты могут быть основой для **решения задач управления трафиком и производительностью широкого класса сетей** передачи данных. Они позволяют устанавливать влияние свойств протоколов нижних уровней на производительность транспортного уровня. Например
  - «медленный и ненадежный» радиоканал;
  - «традиционный» канал
  - стохастические виртуальные каналы

# Литература

1. Bogoiavlenskaia O., Kojo M., Mutka M., Alanko T., Analytical Markovian Model of TCP Congestion Avoidance Algorithm Performance, Report N C-2002-13, Dept. Comput. Sci, University of Helsinki 2002
2. О. Ю. Богоявленская, Анализ случайного потока, генерируемого транспортным протоколом с обратной связью в сети передачи данных // Автоматика и телемеханика, N12, 2003.

