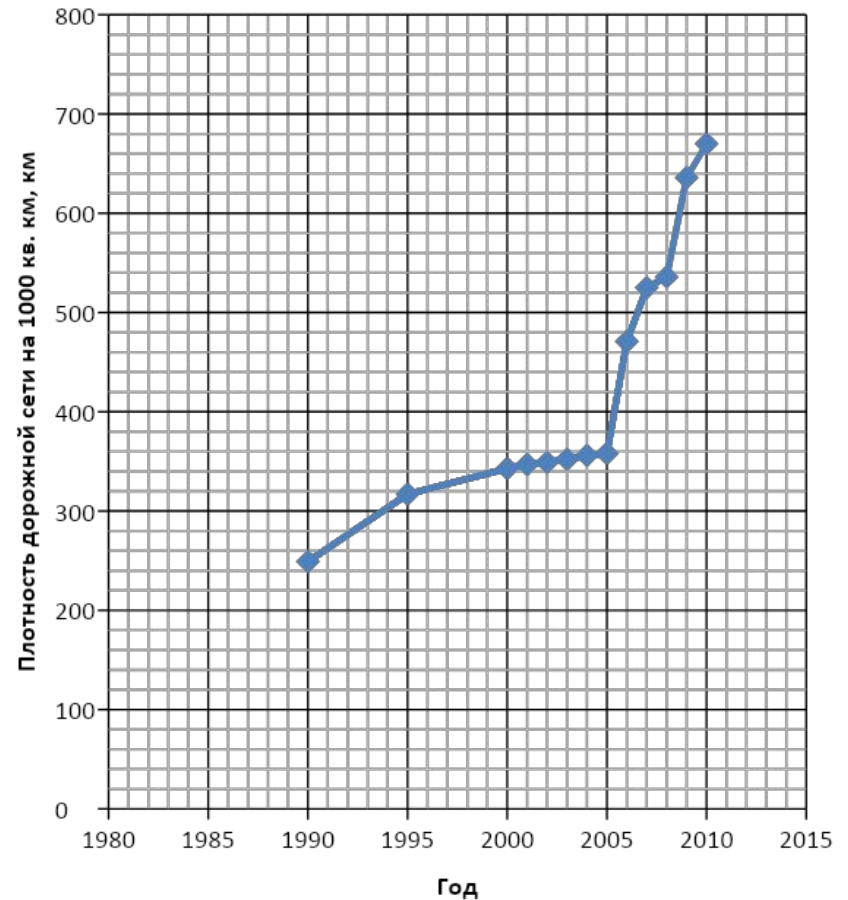
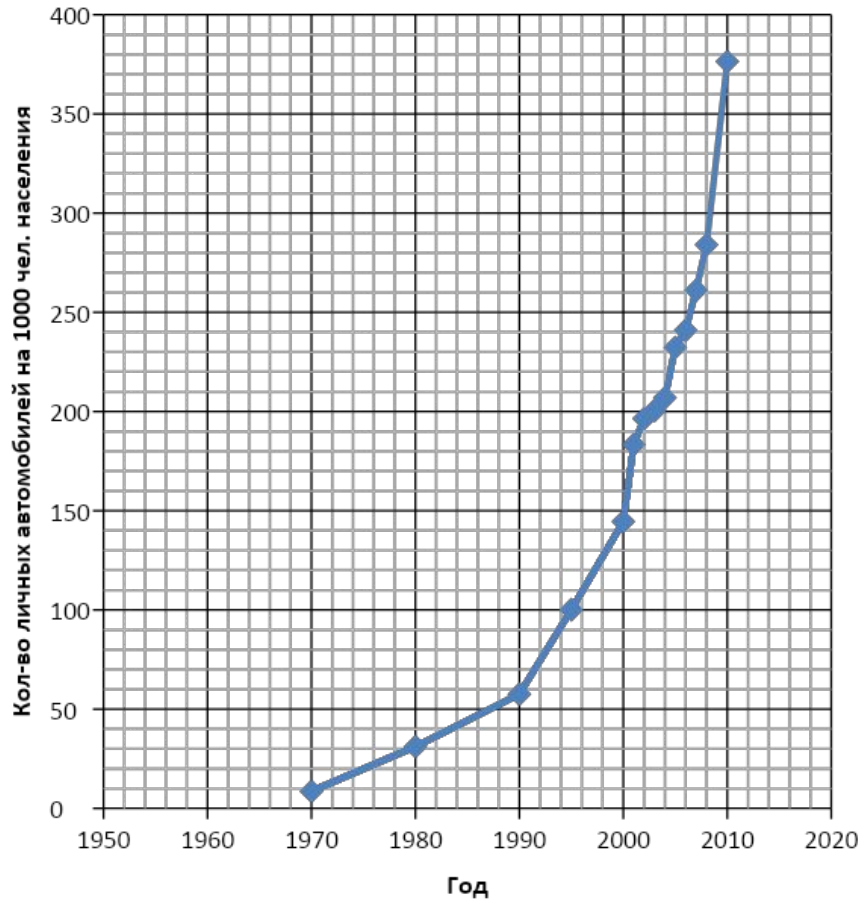


# Методы и алгоритмы решения задачи пространственно- временного распределения параметров транспортных потоков на дорожной сети

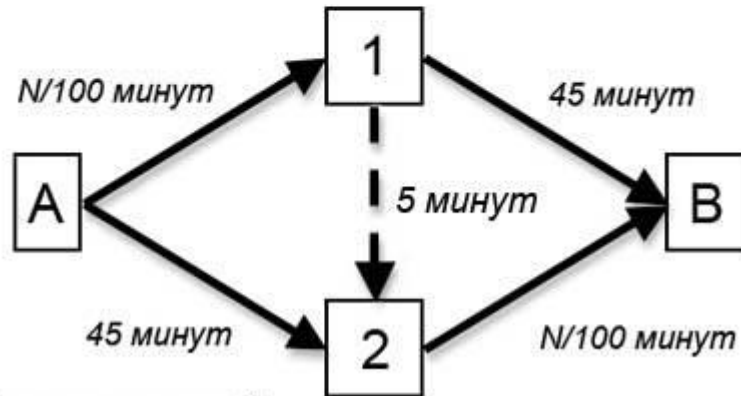
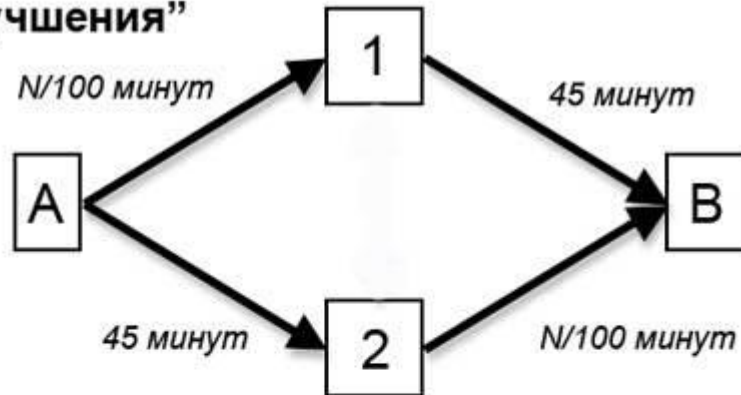
аспирант Данилкин В.А.  
науч. рук. д.т.н., профессор Жуков И.Ю.

# Текущая транспортная ситуация Москва и Московская область



# Парадокс Браеса

До «улучшения»



После «улучшения»

- 4000 автомобилей едут из А в В
- Водители независимо принимают решение о выборе маршрута (2-ой принцип Вардропа)
- До «улучшения»: 2000 авт. по А-1-В, 2000 авт. по А-2-В => время на поездку = 65 мин.
- После «улучшения»: 4000 авт. по А-1-2-В => время на поездку  $4000/100 + 5 + 4000/100 = 85$  мин.

# Цель исследования – мониторинг транспортных ПОТОКОВ

Получение условий и режимов движения транспортных потоков на дорожной сети для определения временных издержек её пользователей

# Существующие подходы к мониторингу транспортных потоков

- Сервисы, основанные на машинном обучении – Яндекс.Пробки, Google пробки
- Математическое моделирование транспортных потоков

# Яндекс.Пробки



- Отсутствие системы организации движения
- Зависимость от количества получаемых данных
- Текущая информация имеет задержку в 15 МИН

# Математические модели транспортных потоков

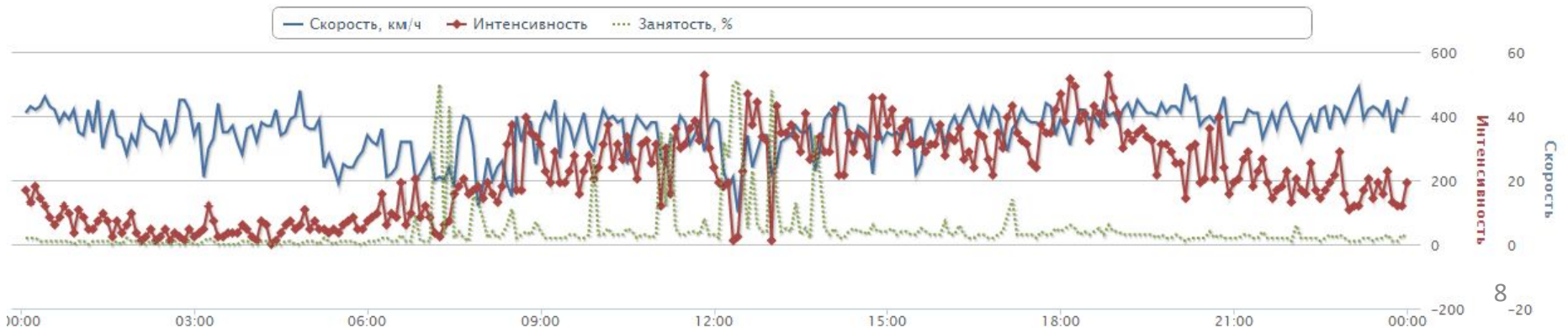
Время		Пространство		
		Непрерывное	Дискретно е	N/A
Динамика	Непрерывно е	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Микромодели</li> <li>• Макромодели</li> </ul>	Не существуют на данный момент	N/A
	Дискретное	Не существуют на данный момент	Клеточные автоматы	N/A
Статика	N/A	N/A	N/A	Статическое равновесное распределение

# Детекторы транспорта



В сечении дороги за временной интервал  $\Delta t$  измеряют

- Интенсивность (количество ТС за  $\Delta t$ ,  $q$ )
- Скорость (среднеарифметическая скорость ТС за  $\Delta t$ ,  $V$ )
- Занятость (время нахождения ТС в сечении детектора/  $\Delta t$ )





# Существующие программные средства мониторинга транспортных потоков

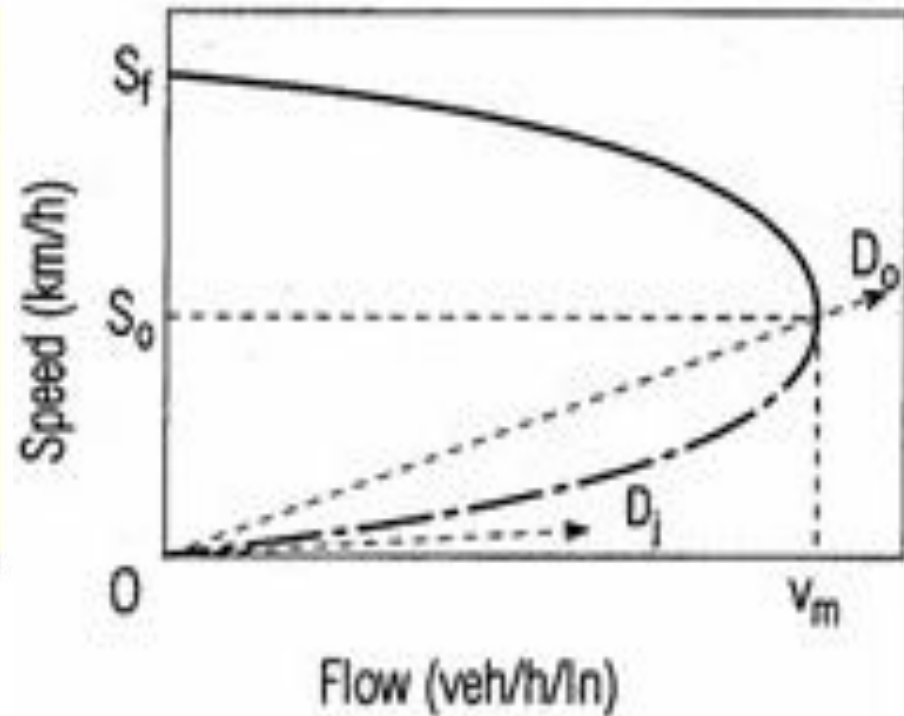
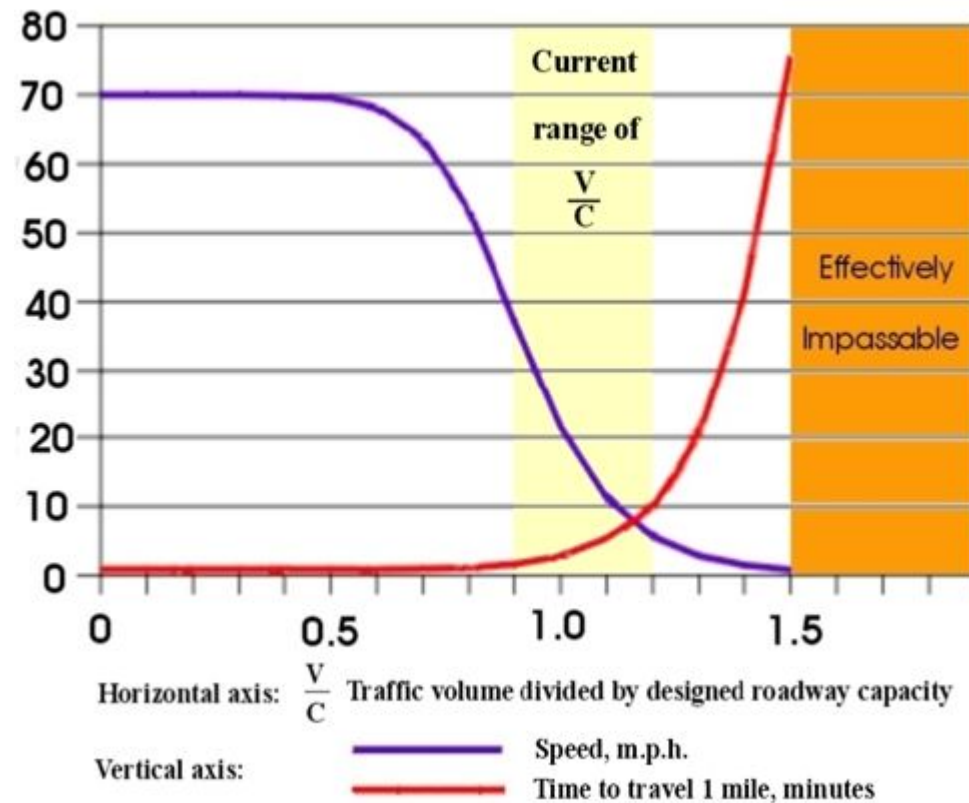
## **SUMO, Cube, PTV VISUM**

- Основная задача – равновесное распределение транспортных потоков на дорожной сети
- Учет системы организации дорожного движения (статический)
- Статическая модель транспортных потоков (отсутствие понятия очереди)
- Использование калибруемых BPR-функций для расчета времени проезда участка дорожной сети

# ВРР-функции и фундаментальная диаграмма транспортного потока

## ВРР-функция      Фундаментальная диаграмма

### диаграмма



# Динамические модели транспортного потока

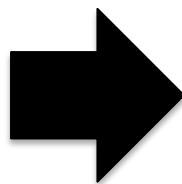
	<b>Необходима информация о пространственном распределении автомобилей</b>	<b>Существуют функции, описывающие поведение транспортного потока на непрямолинейных участках</b>
Микро	Да	Да, в неявном виде
Макро	Нет	Частично

# Постановка задачи

- Декомпозиция дорожной сети на уникальные элементы (неоднородности), при прохождении которых транспортные потоки меняют свое поведение (изменяются параметры)
- Построение моделей элементов, описывающих пространственное распределение параметров транспортных потоков с минимальным числом калибруемых переменных
- Разработка алгоритмы каскадного влияния фронтов транспортных потоков
- Разработка специального программного обеспечения

# Элементы дорожной сети -> математические модели

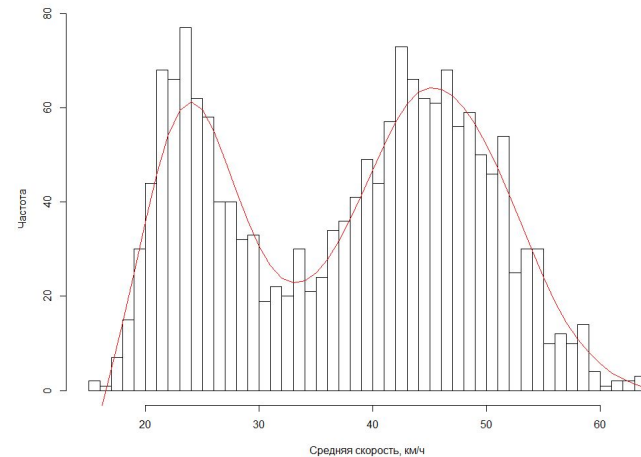
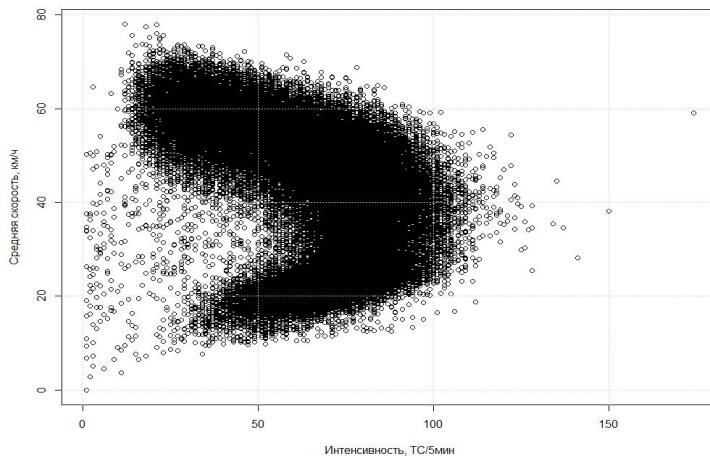
1. Ж/Д переезд  
(регулируемый и нерегулируемый)
2. Искусственная неровность
3. Светофор
4. Трамвайная остановка
5. Нерегулируемый пешеходный переход
6. Сужение
7. Расширение
8. Остановка НГПТ (с карманом и без него)
9. Съезд
10. Выезд
11. Нерегулируемый перекресток



1. Светофор
2. Сужение
3. Съезд
4. Выезд
5. Ограничение скорости

# Методика обработки данных

- Рассматриваются данные с детекторов транспорта за несколько месяцев измерений на разных расстояниях от неоднородности
- Выделяются свободное и перегруженное состояние транспортного потока авторским методом



- Подбираются «наилучшие» линейные аппроксимирующие функции с помощью методов регрессионного анализа

# Модель светофора

Для независимых потоков:

●  
Пространственное распределение скорости потока в свободной фазе для полосы ( $\Delta t > T_c$ )

$$V_f = V_{max}(R) - \left(1 - \frac{T_g}{T_c}\right) * (\min(q, 0,9 * q_{max}) - \frac{l}{l_v}) * \frac{1}{k}$$

Пространственное распределение скорости потока в перегруженной фазе для полосы

$$V_c = \frac{q}{q_{max}} * (V_{max} - \left(1 - \frac{T_g}{T_c}\right) * q_{max} * \frac{1}{k} - V_{min}) + V_{min}$$
$$V_c(l) = const = q - q_{max}$$

Для нескольких направлений с одной полосы  $V = \sum_{i,j} V_{i,j} \cdot p_{i,j}$

$q_{max}$  - пропускная способность [ТС/5 мин],

$k$  - коэффициент размерности [ТС/км],

$V_{max}$  - максимально допустимая скорость,

$V_{min}$  - минимально возможная скорость,

$l_v$  - расстояние, занимаемое одним автомобилем в очереди,

$R$  - радиус поворота,

$l$  - расстояние от светофора

$p_{ij}$  - матрица разъездов (корреспонденций), где  $i$  - источник,  $j$  - сток, в %

Для зависимых потоков  $V_{max}(R)$  рассчитывается из моделей съезда и выезда

# Модель ограничения скорости

- 

$$V = V_{max}$$
$$V(l) = const = q \cdot (l_v + V_{max} \cdot T + s_0)$$

$T$  – время реакции водителя,

$s_0$  – минимальная дистанция безопасности



# Модель съезда

1 - свободный, 2 – свободный

$$V_3^{lane\ 1,2} = V_1 * \left(1 - \frac{q_{off}}{q_{in}}\right) + V_2 * \frac{q_{off}}{q_{in}}$$

$$V_3^{lane\ 3+} = V_1$$

1-свободный, 2 – перегруженный

$$V_3^{lane\ i} = \begin{cases} V_{min} \cdot i + V_1 * \left(1 - \frac{q_{off}}{q_{in}^{norm}}\right) + V_2 * \frac{q_{off}}{q_{in}^{norm}}, & \frac{q_{off}}{q_{in}^{norm}} < 1 \\ V_2, & \frac{q_{off}}{q_{in}^{norm}} > 1 \end{cases}$$

1 перегруженный, 2-свободный/перегруженный

$$V_3^{lane\ 1} = \begin{cases} V_1 * \left(1 - \frac{q_{off}}{q_{in}}\right) + V_2 * \frac{q_{off}}{q_{in}}, & \frac{q_{off}}{q_{in}} < 1 \\ V_2, & \frac{q_{off}}{q_{in}} > 1 \end{cases}$$

$$V_3^{lane\ 2} = V_1 * \left(1 - \frac{i - 1}{N_i} \frac{q_{off}}{q_{in}}\right)$$

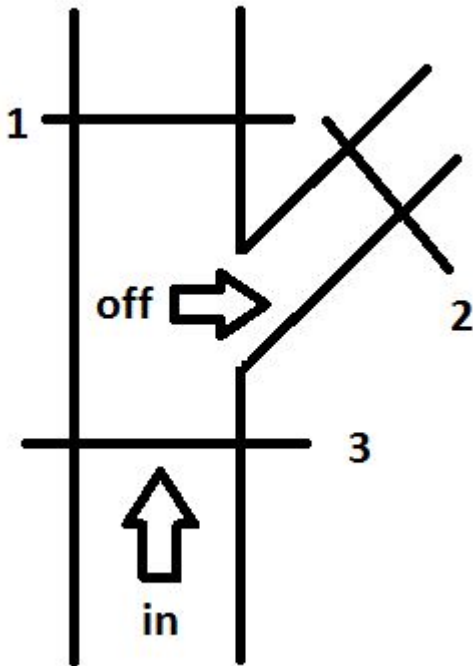
$$V_3^{lane\ 3+} = \min(V_1, V_2)$$

$$V(l) = const = q \cdot (l_v + V_{max} \cdot T + s_0)$$

$i$  – номер полосы движения для  $q_{in}$ ,

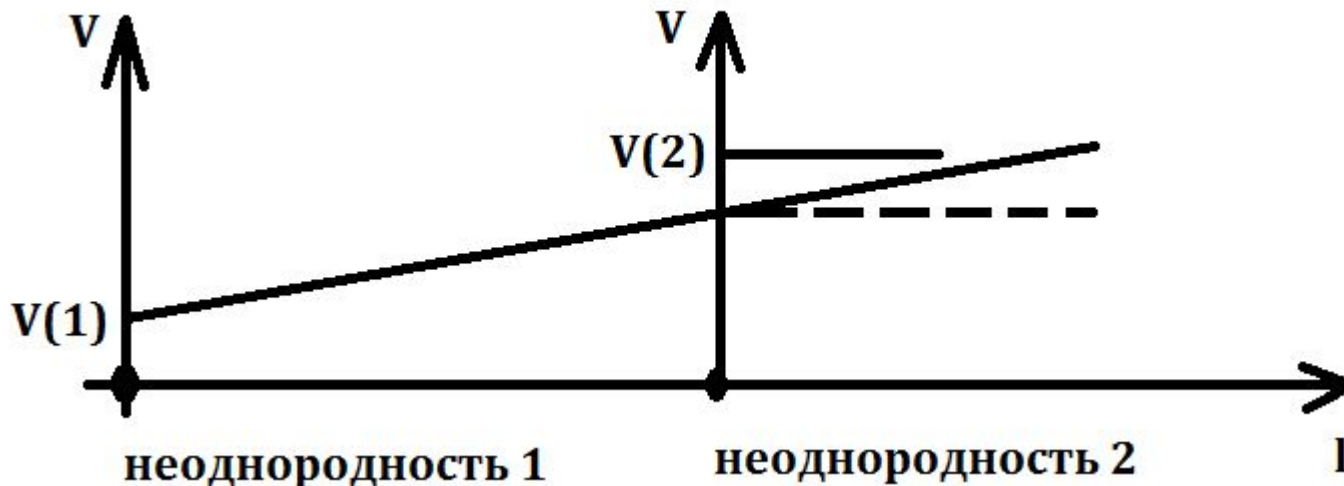
$N_i$  – число полос движения  $q_{in}$ ,

$$q_{in}^{norm} = \frac{q_{in}}{N_i}$$



# Каскадное влияние фронтов транспортных потоков

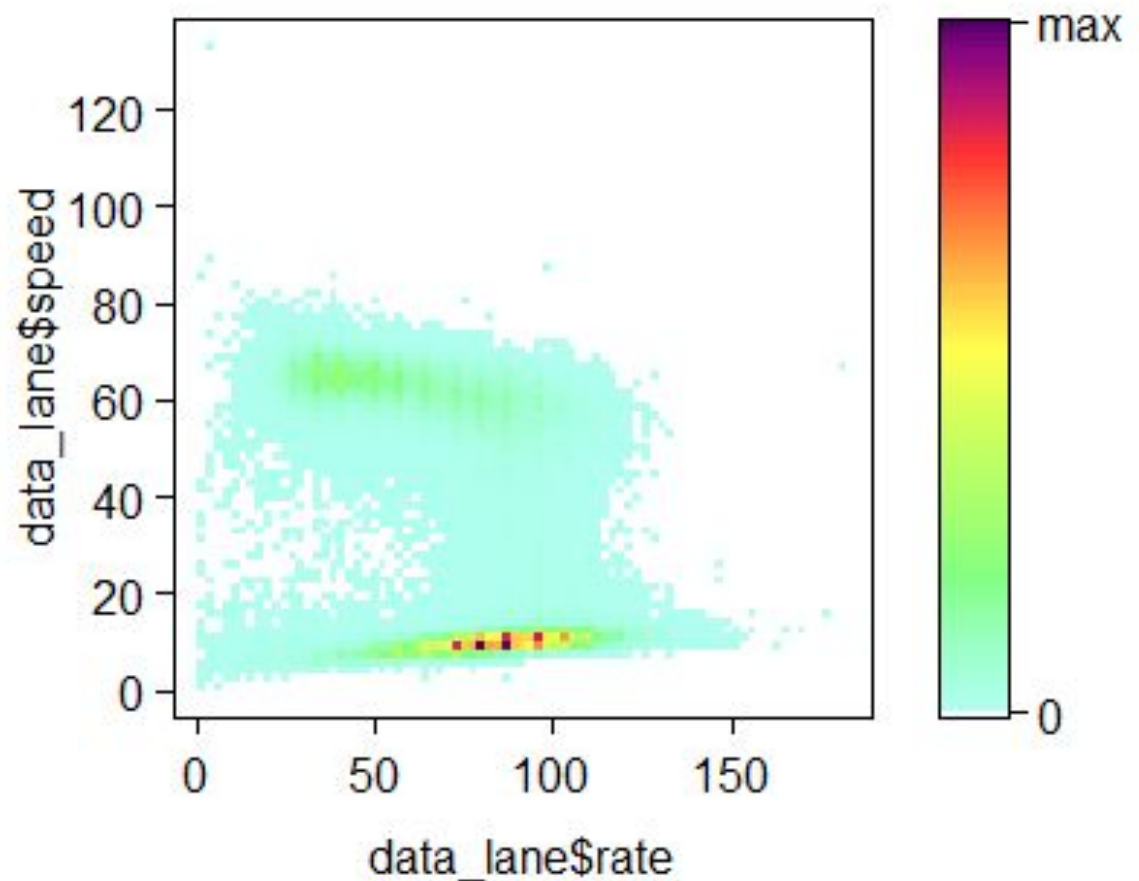
- $V(q, l)$  текущего транспортного потока =  $V(q, l)$  заднего фронта транспортного потока по ходу движения



- Для светофоров на расстоянии до 800м вводится степень координированной работы  $[0,1]$  для расчета  $q_{max}$

# Текущие исследования

- Сужение
- Выезд



# Результаты

Время		Пространство		
		Непрерывное	Дискретное	N/A
Динамика	Непрерывное	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Микромодели</li> <li>• Макромодели</li> </ul>	Не существуют на данный момент	N/A
	Дискретное	Разрабатываемая модель	Клеточные автоматы	N/A
Статика	N/A	N/A	N/A	Статическое равновесное распределение