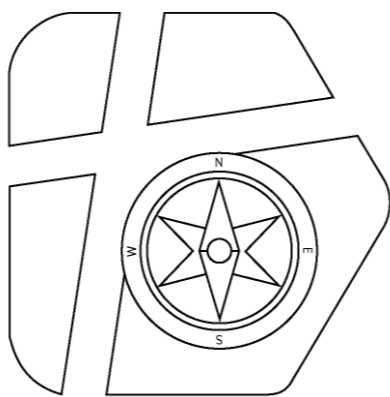


**Я**ндекс

Яндекс

карты

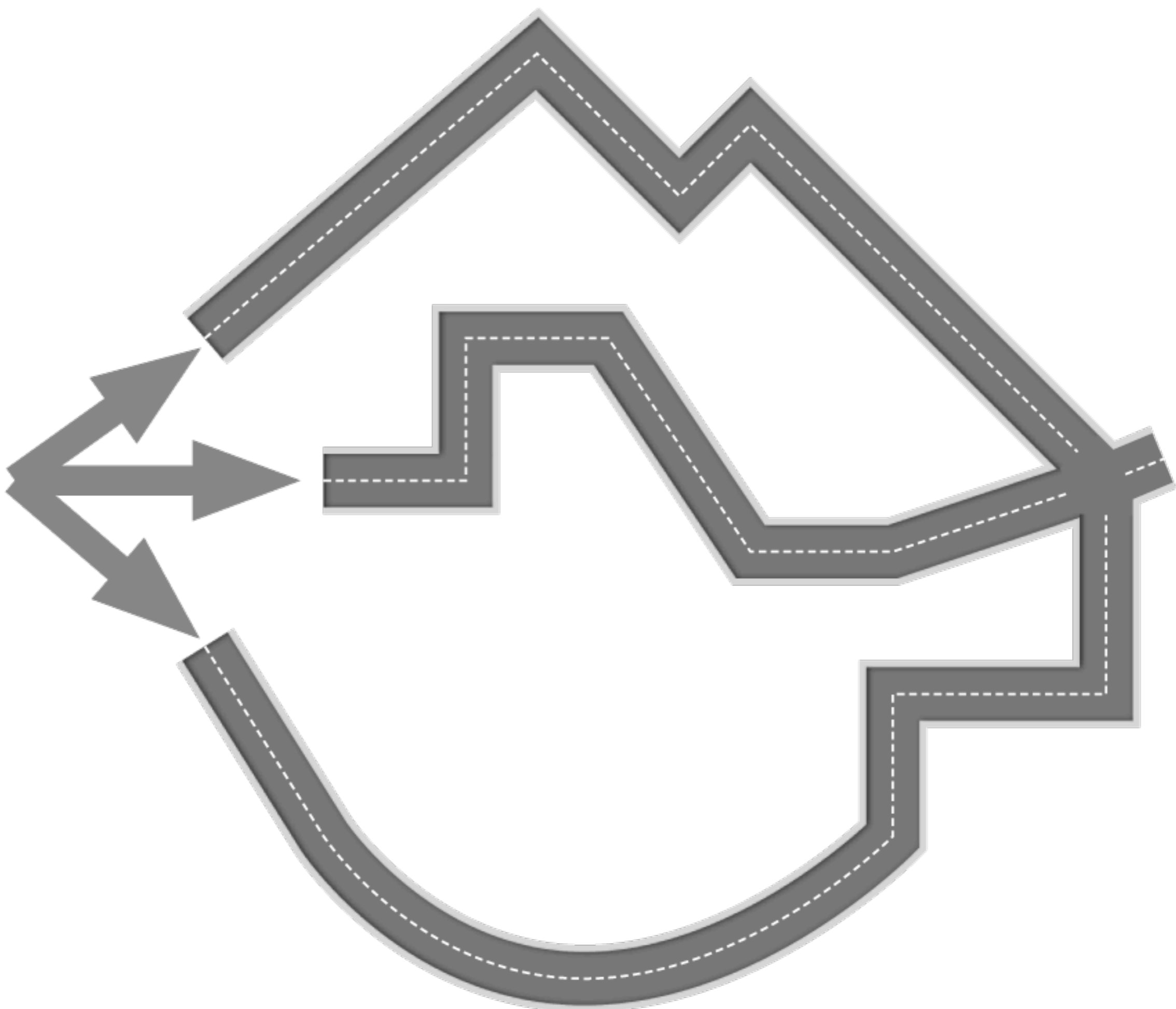


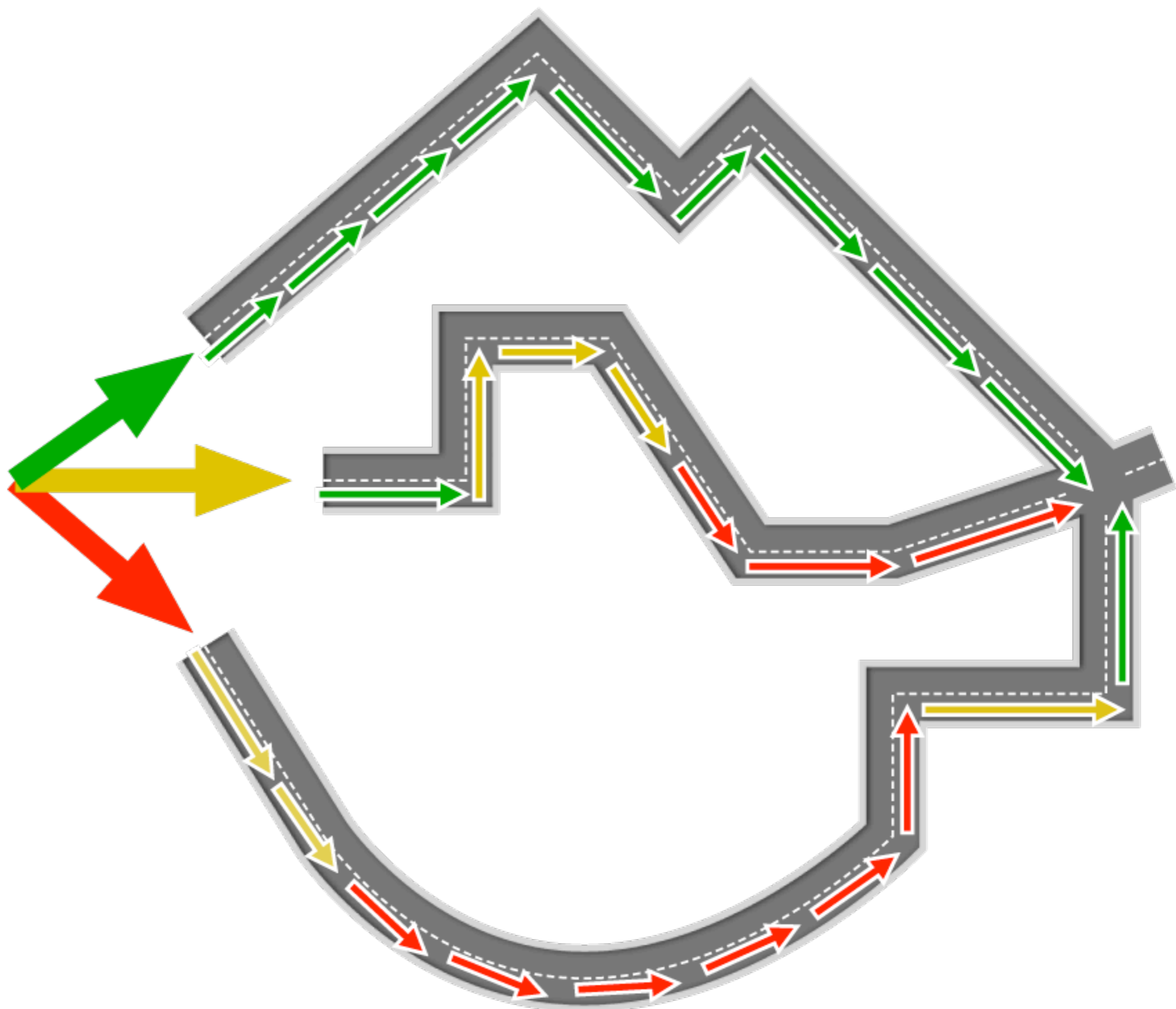
# Математические модели, которые помогли Яндекс.Пробкам

Михаил Хохлов

Разработчик











# Пробки

сейчас  обычно

пн

вт

ср

чт

пт

сб

вс

0:00

8:00

1

17:30

23:59

На основе статистики  
Яндекс.Пробок



# Математика

Входные данные

Постановка задачи

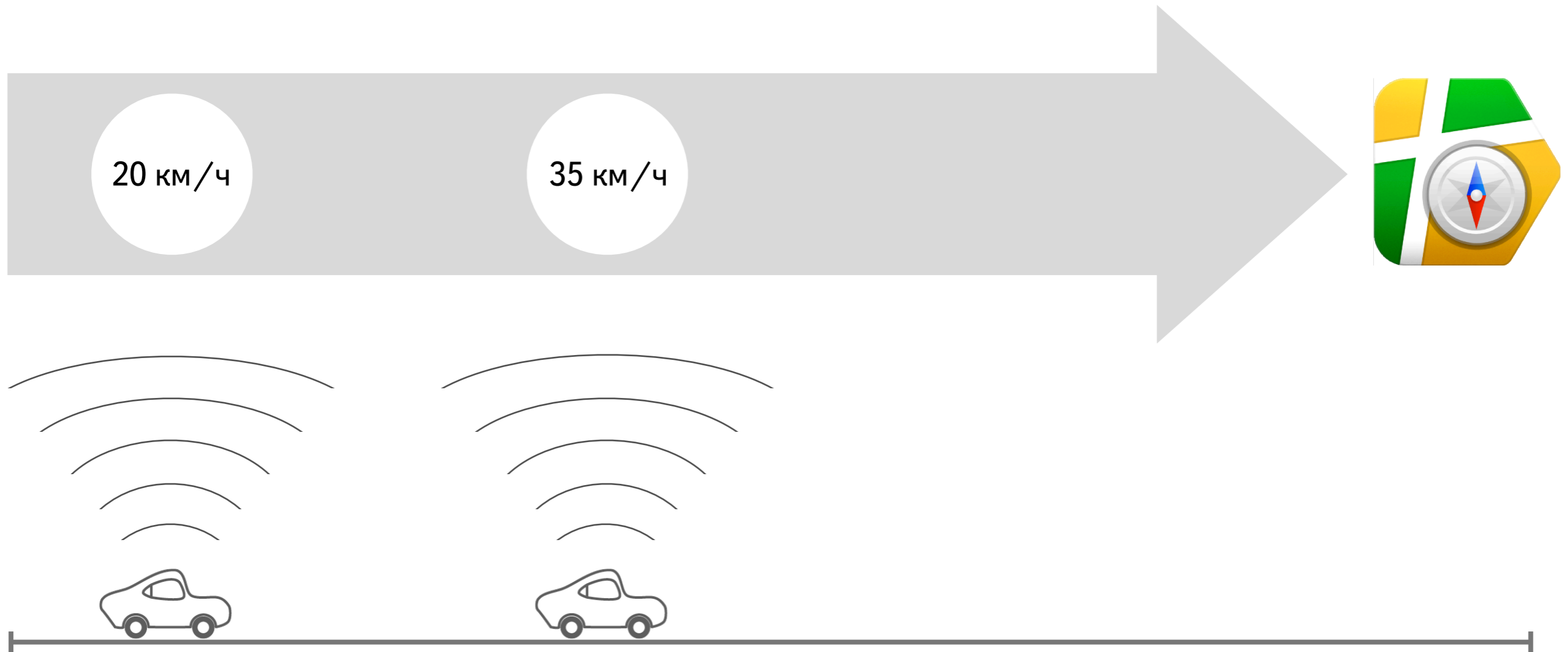
Методы решения

Оценка качества

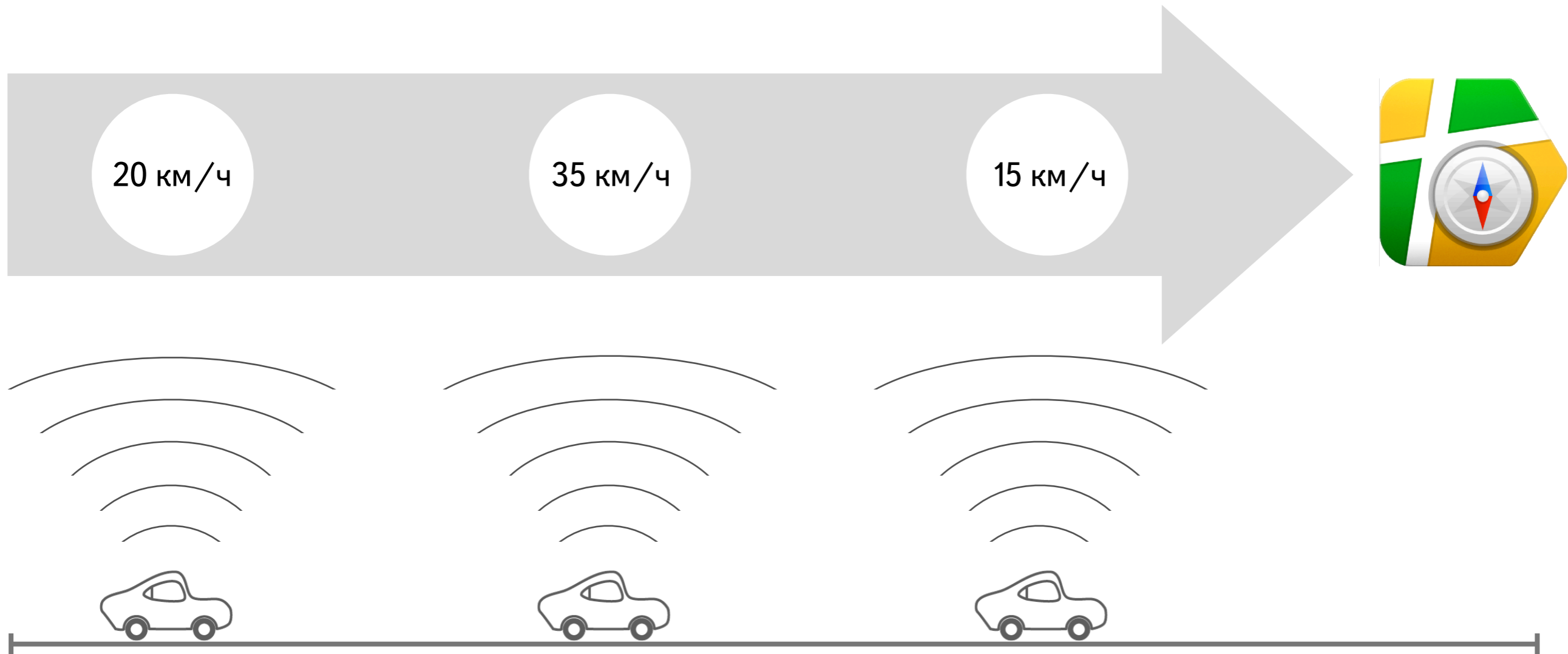
# Способ получения данных



# Способ получения данных

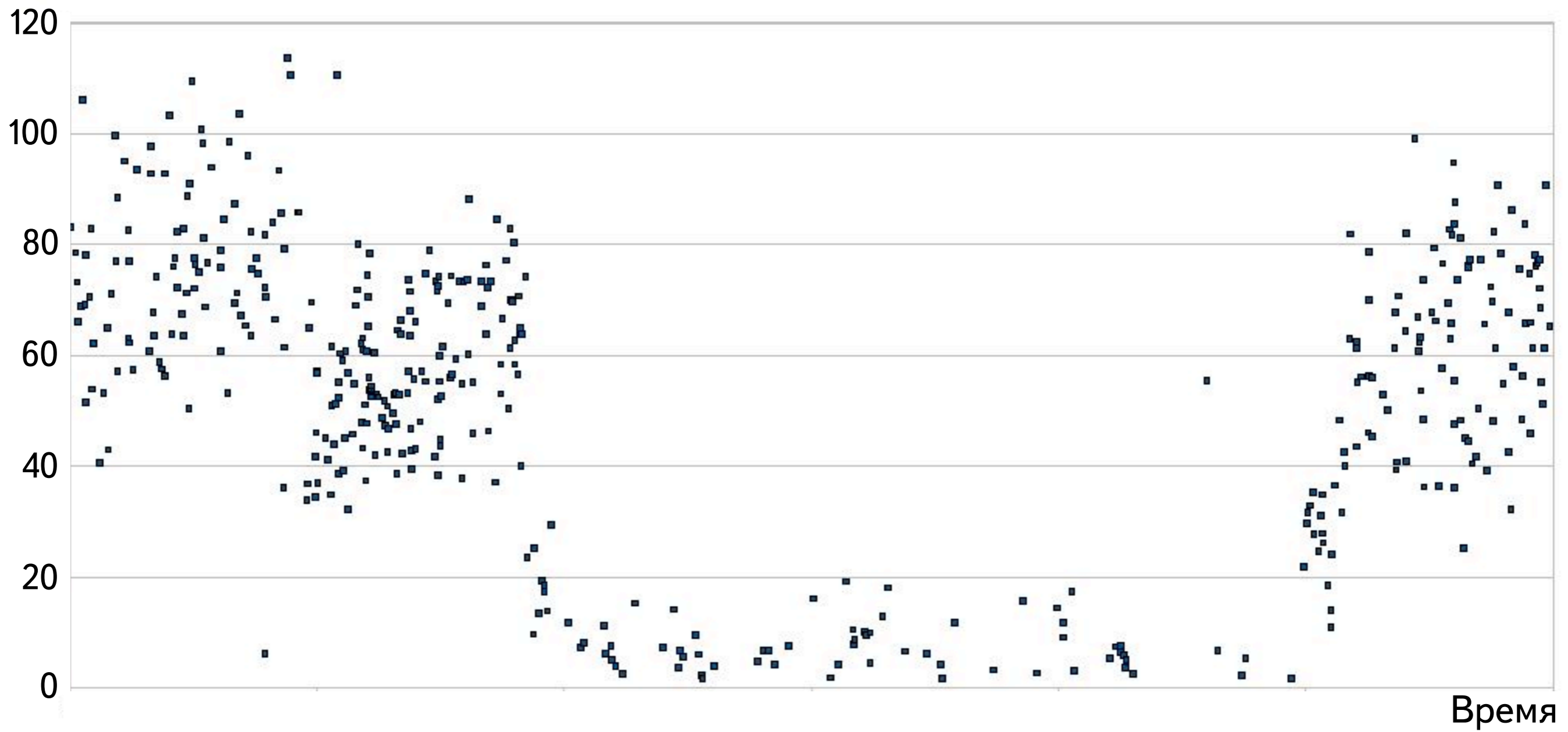


# Способ получения данных



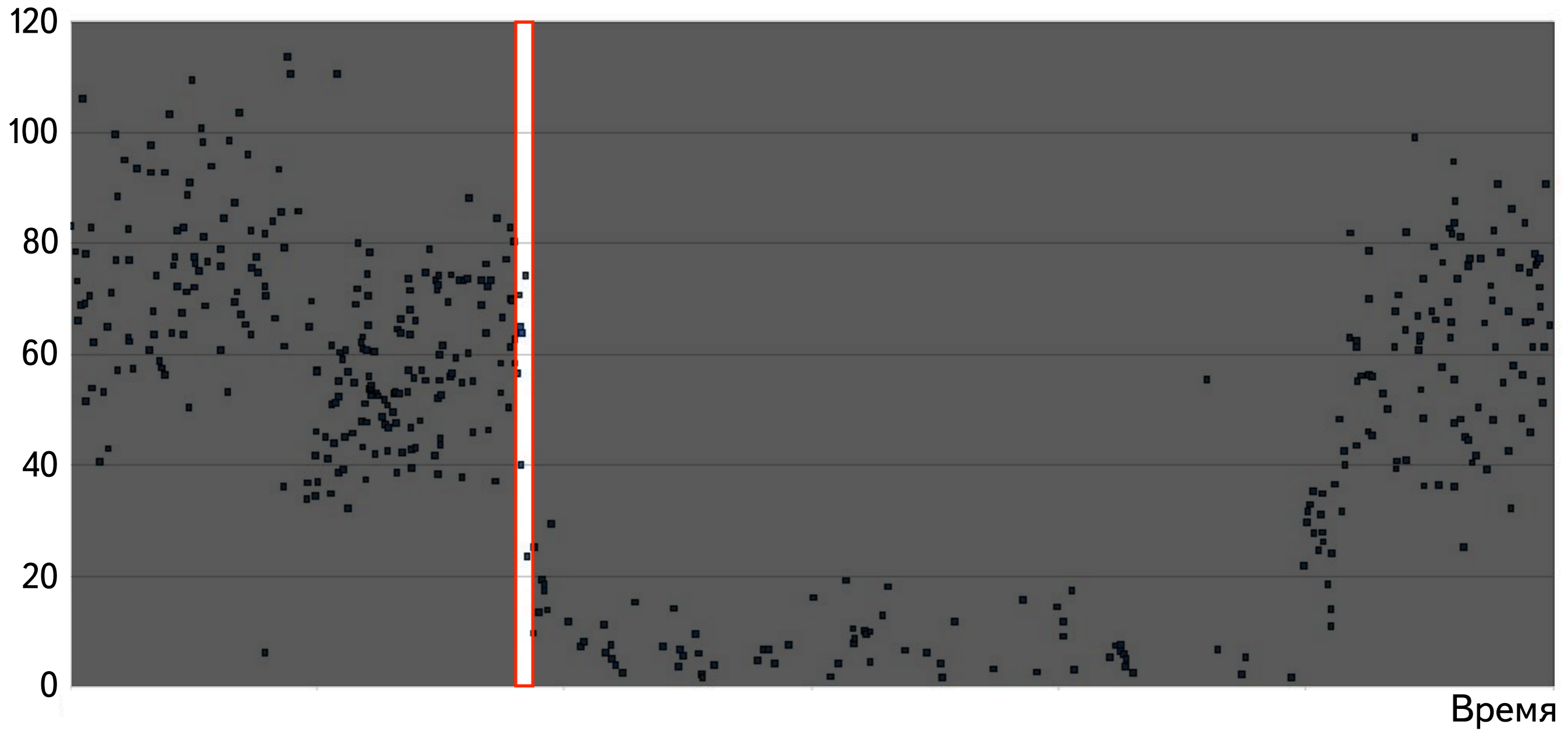
# Данные от пользователей

Скорость

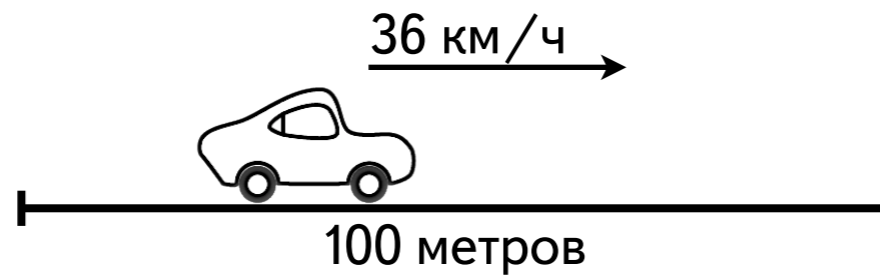


# Данные от пользователей

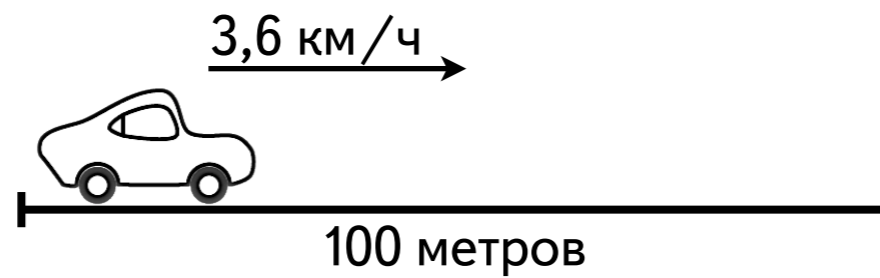
Скорость

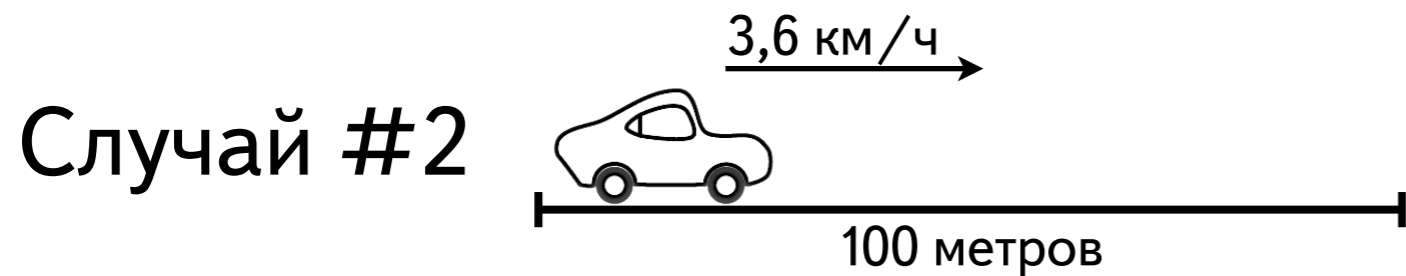
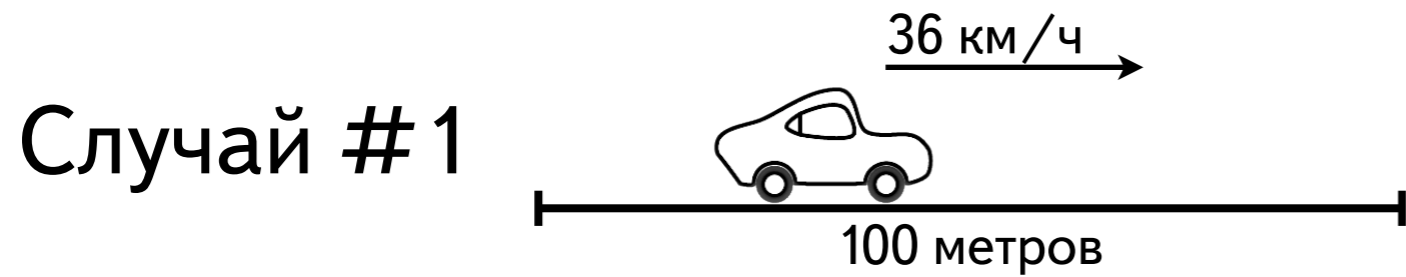


Случай #1



Случай #2

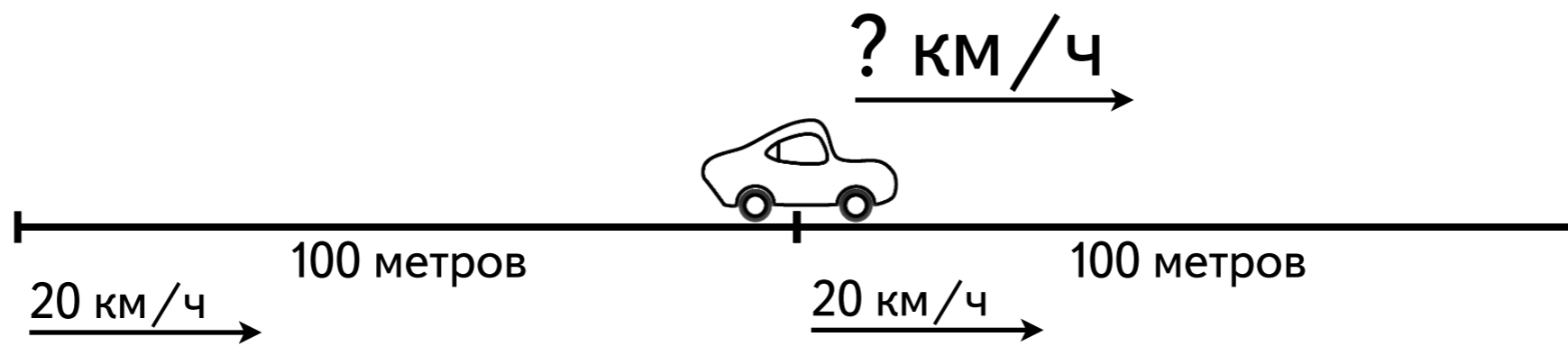


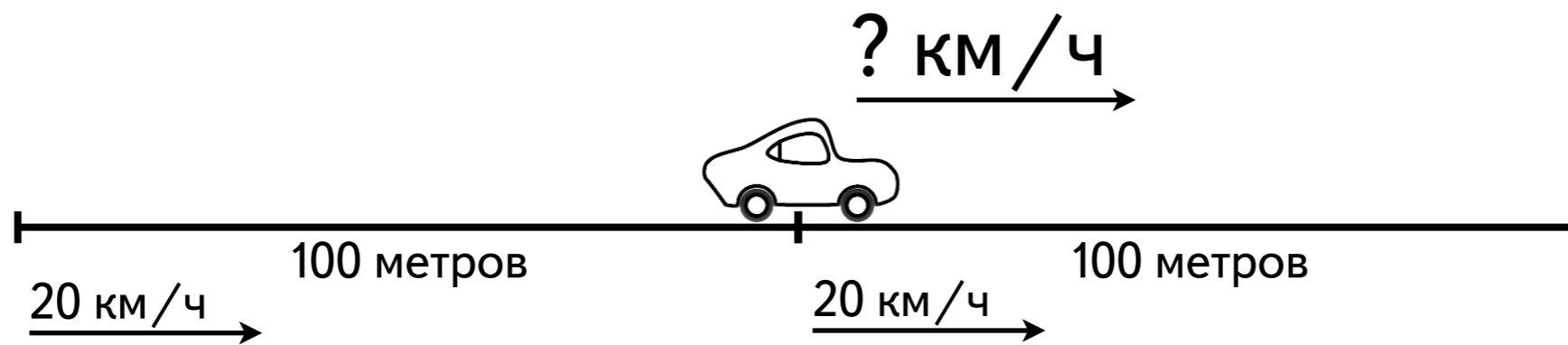


Время проезда

Скорость

	Время проезда	Скорость
Случай #1	10 сек.	36 км/ч
Случай #2	100 сек.	3,6 км/ч
Среднее	55 сек. (~7 км/ч)	~20 км/ч





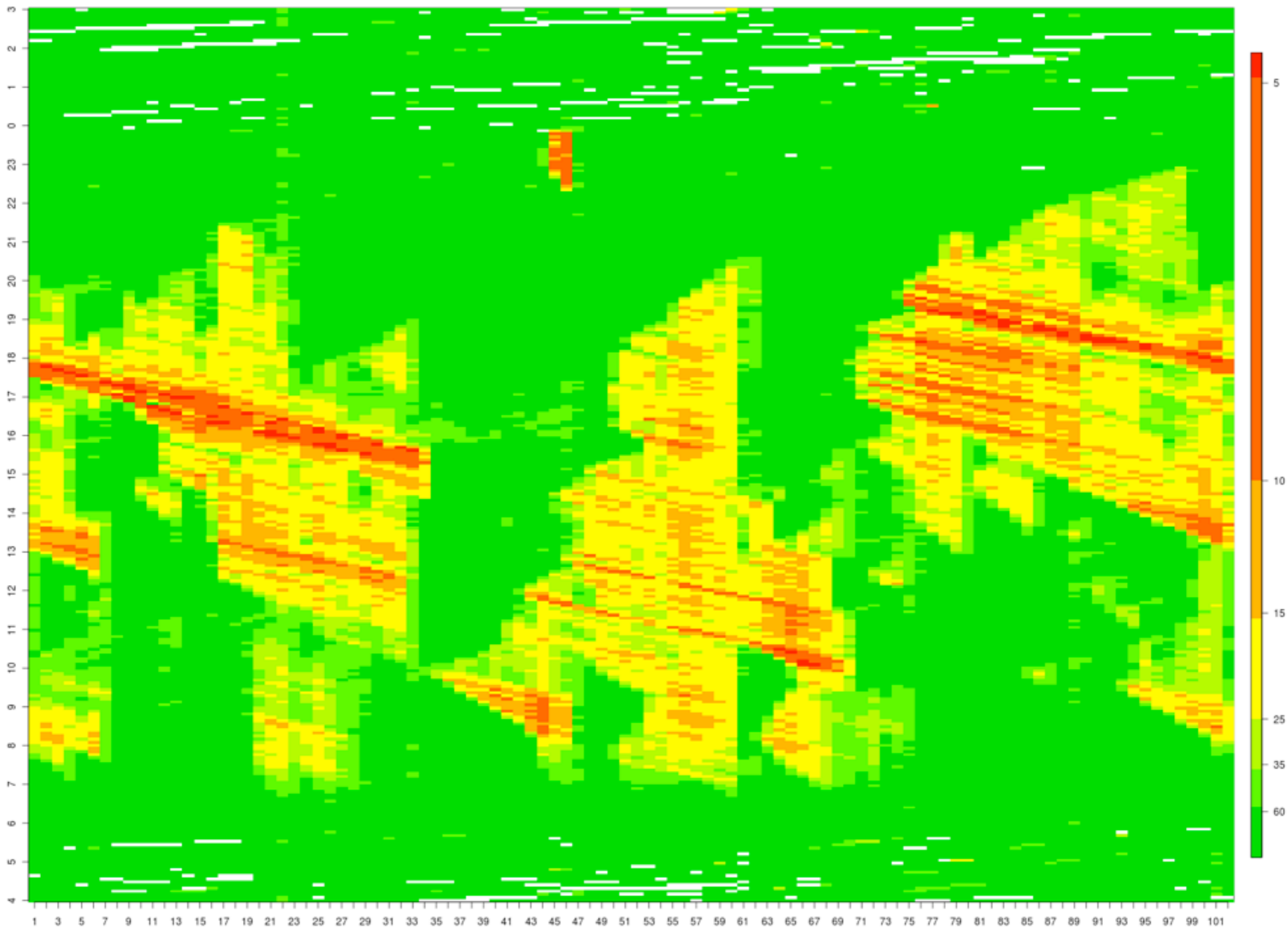
Время проезда

Скорость

Случай #1	10 сек. + 10 сек.	36 км/ч
Случай #2	100 сек. + 10 сек.	6,5 км/ч
Случай #3	10 сек. + 100 сек.	6,5 км/ч
Случай #4	100 сек. + 100 сек.	3,6 км/ч
Среднее	110 сек. (~7 км/ч)	~13 км/ч

# Постановка математической задачи

**Предсказать время проезда по каждому участку дороги через 15–30–45–60 мин, наблюдая времена проезда сейчас и имея историю таких наблюдений в прошлом.**



# Методы решения

## Физическое моделирование

Потоковые модели

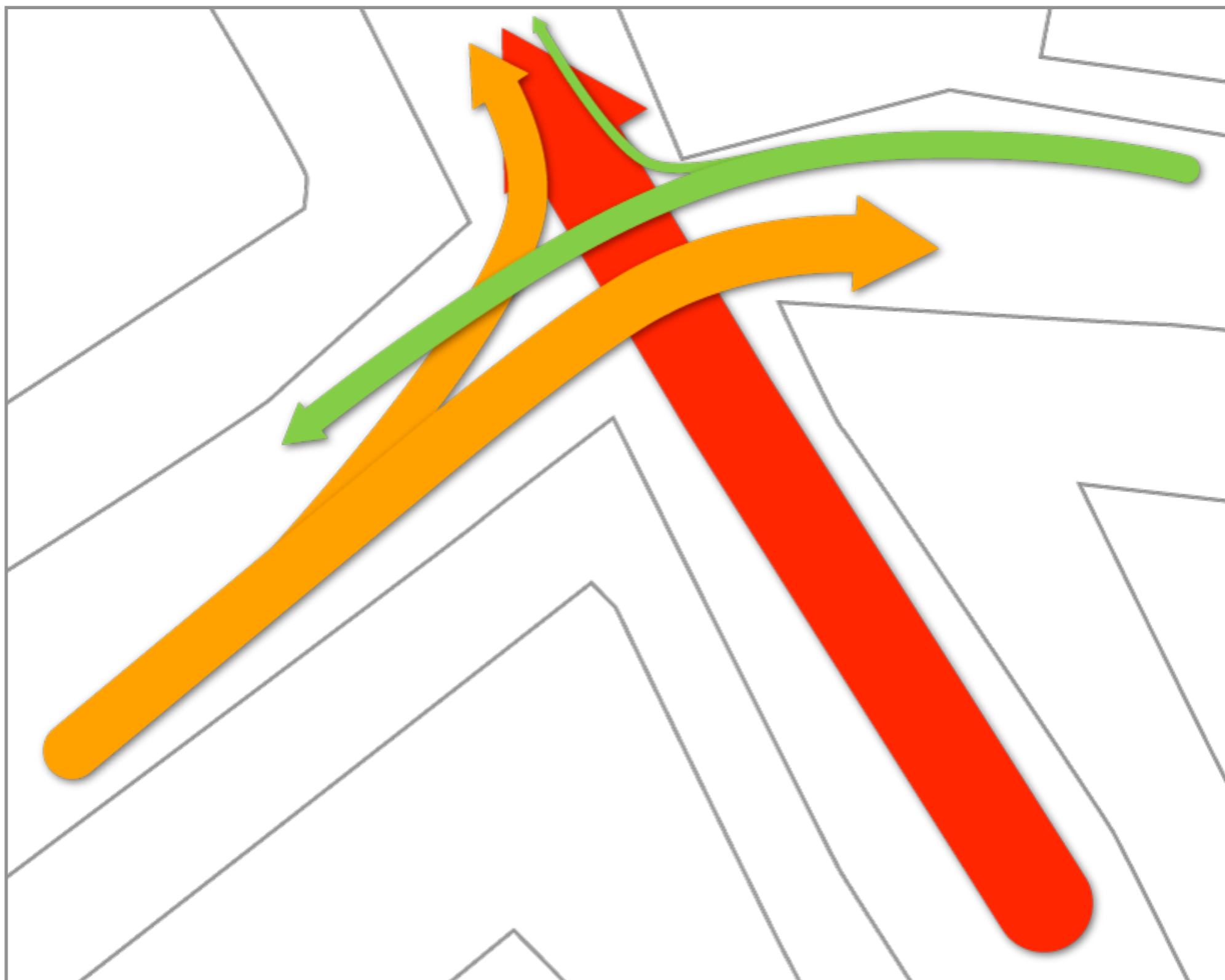
Имитационные модели

## Машинное обучение

Авторегрессия

К ближайших соседей

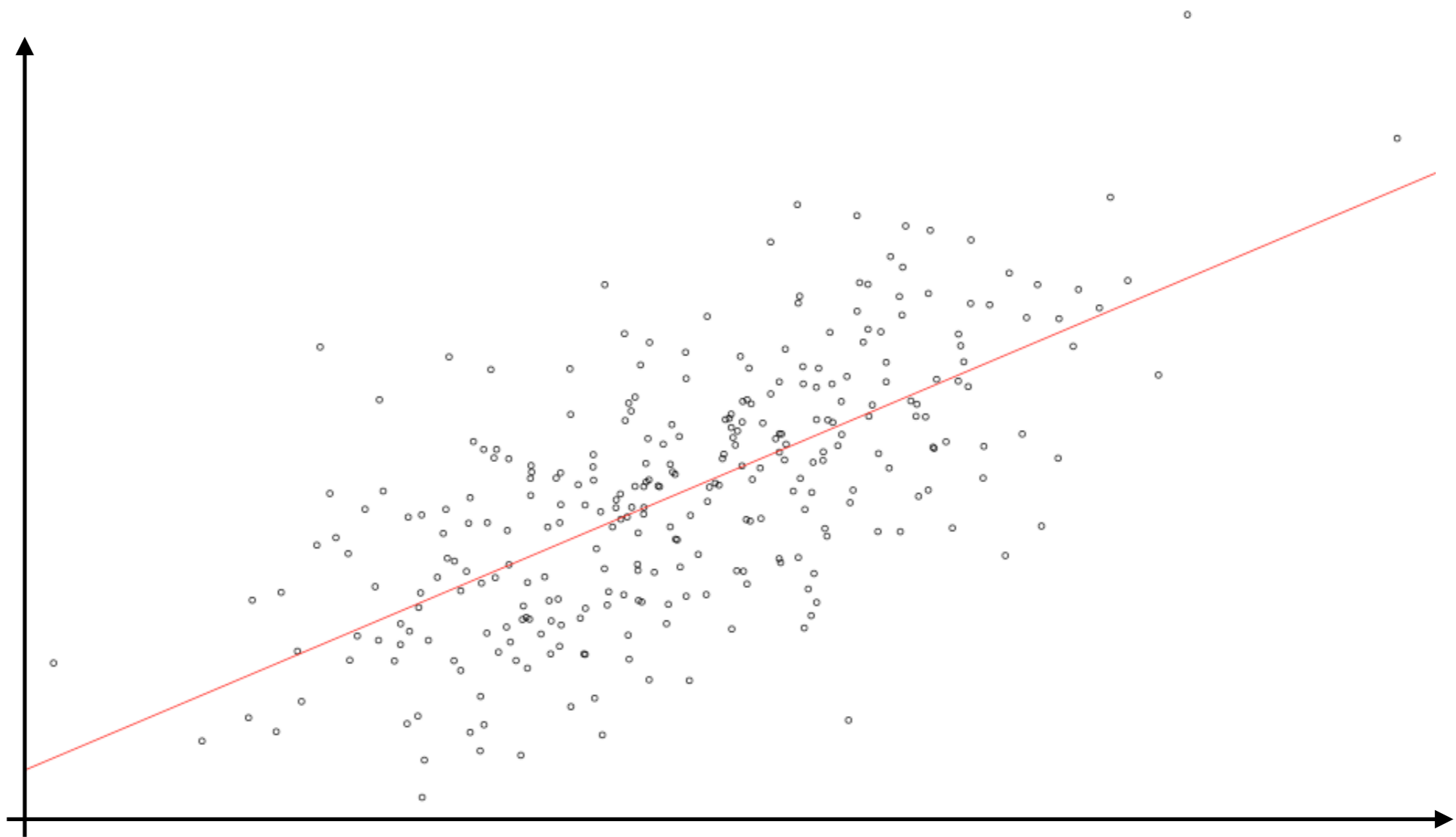
# Потоковые модели



# Имитационные модели

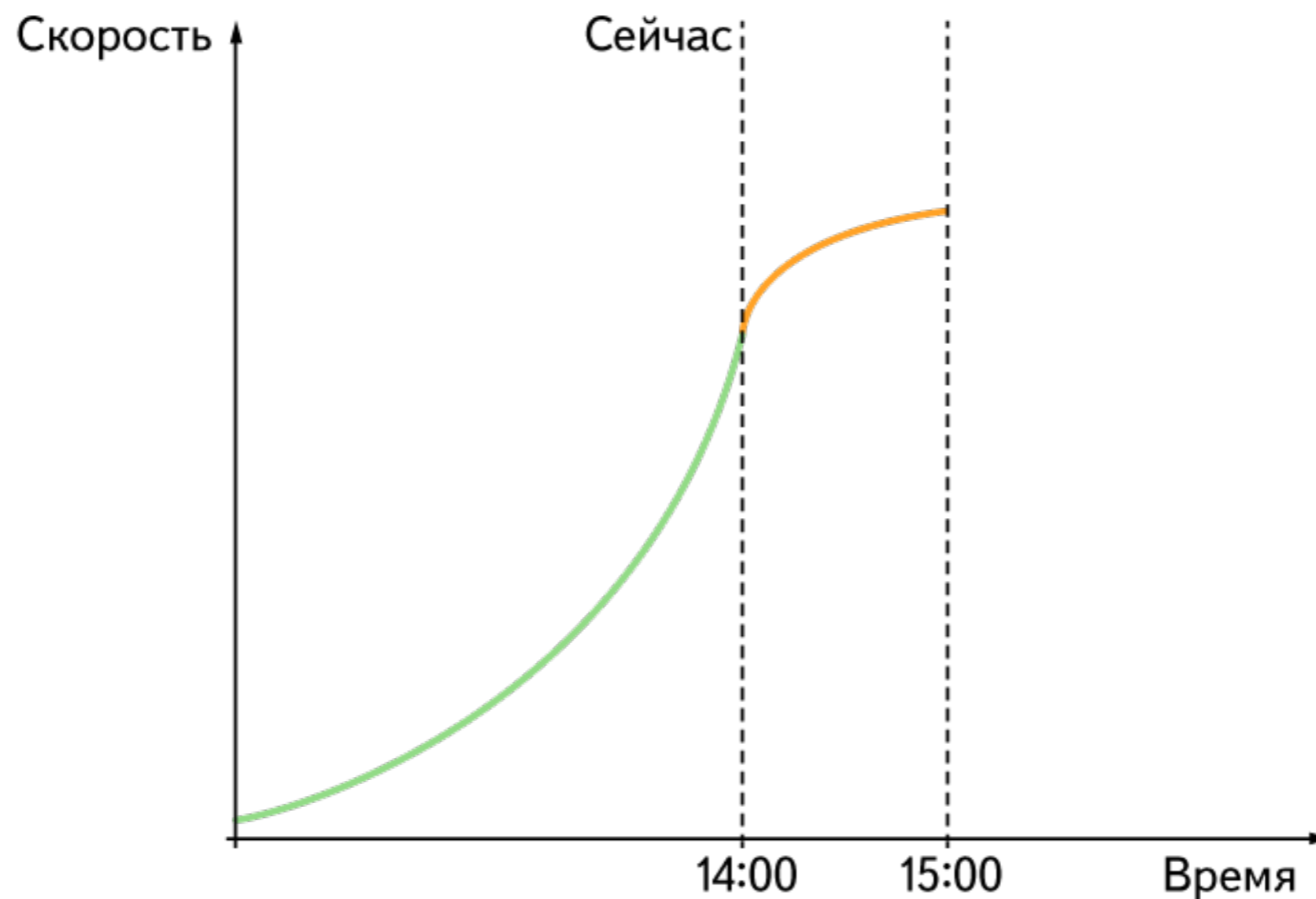


# Метод авторегрессии



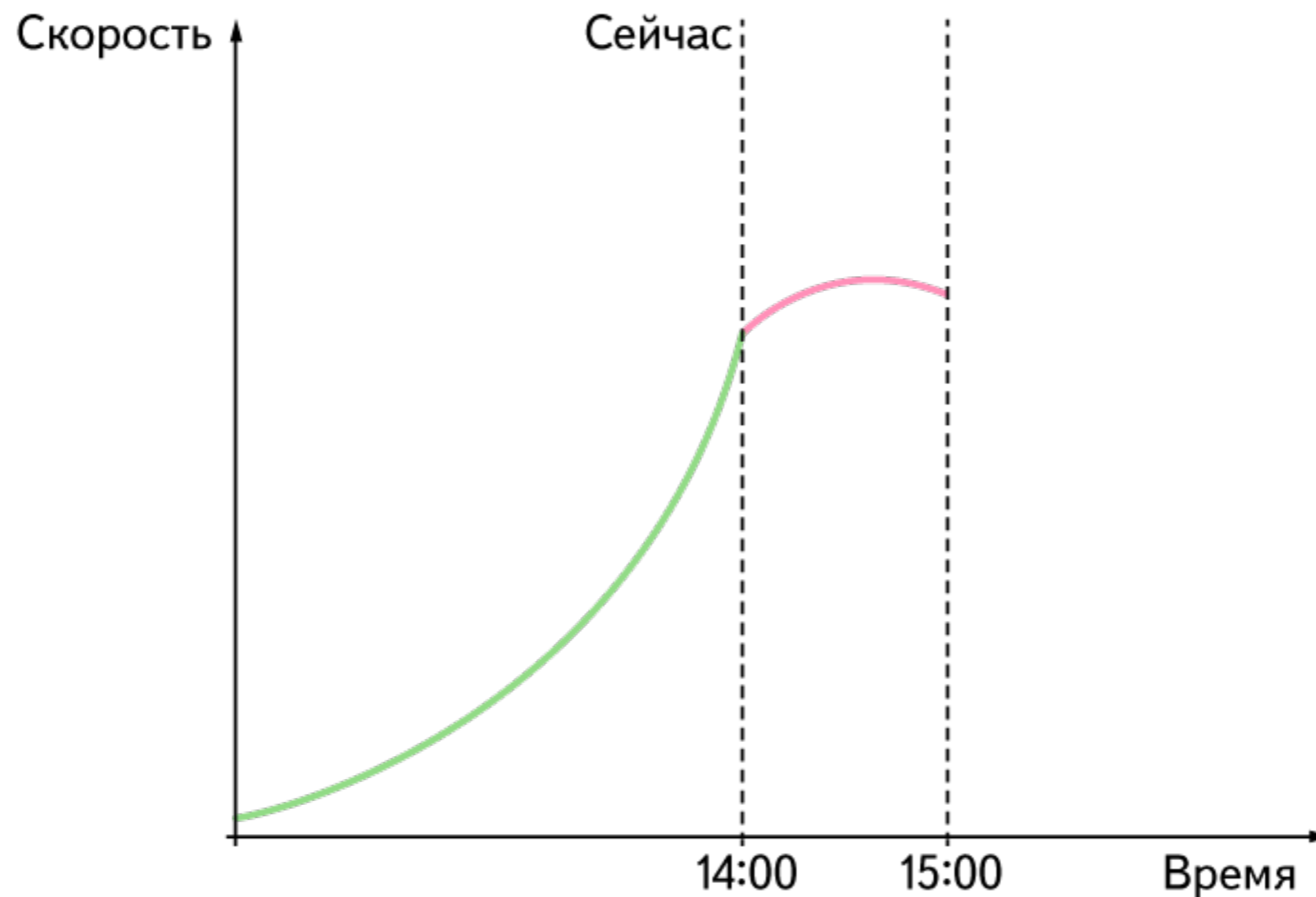
Прогноз:  $x_i^t = \sum_{j \in N(i)} \sum_{l=1}^L a_{ij}^l x_j^{t-l}$

# Метод k ближайших соседей



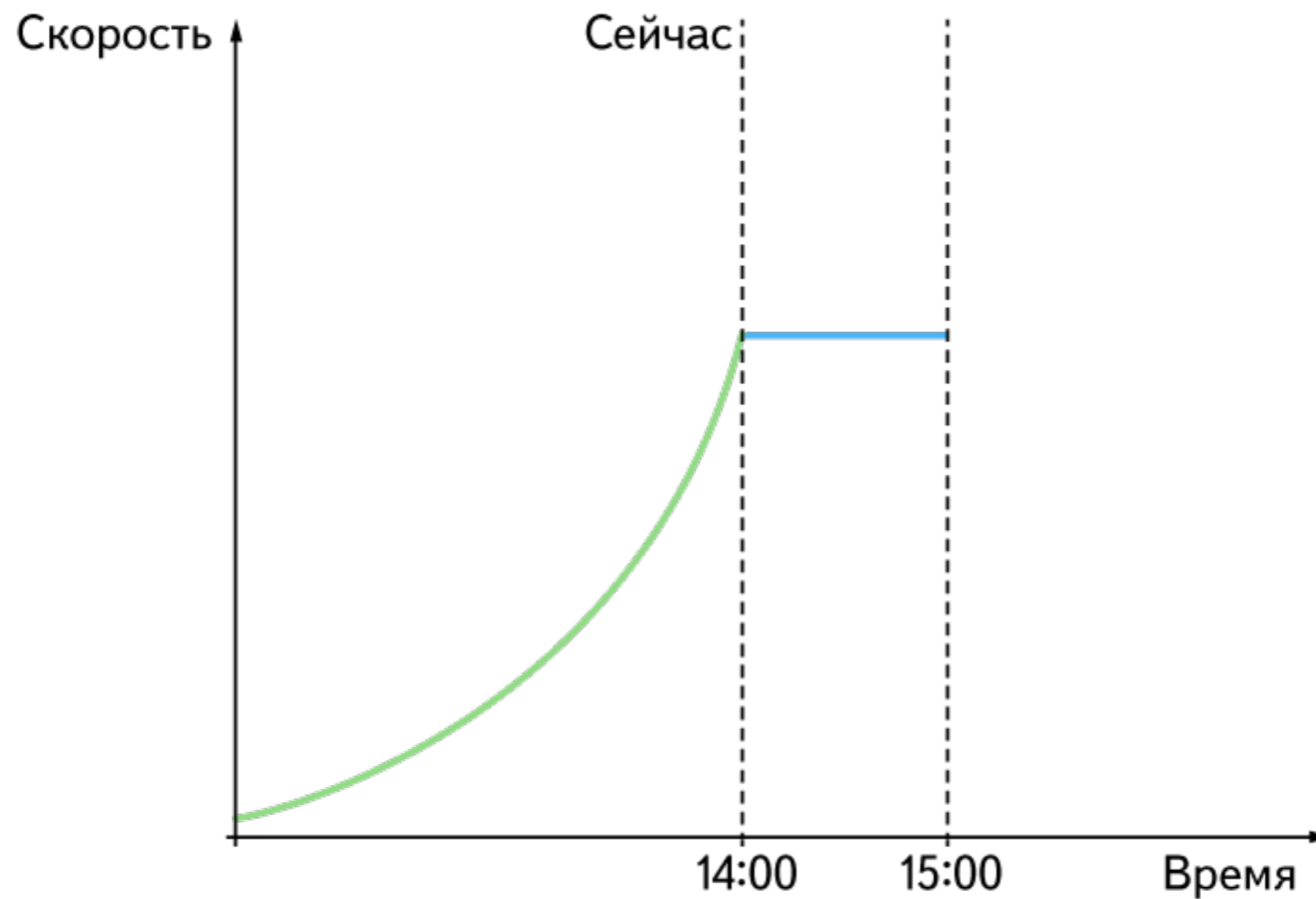
**Картина пробок # 1**

# Метод k ближайших соседей



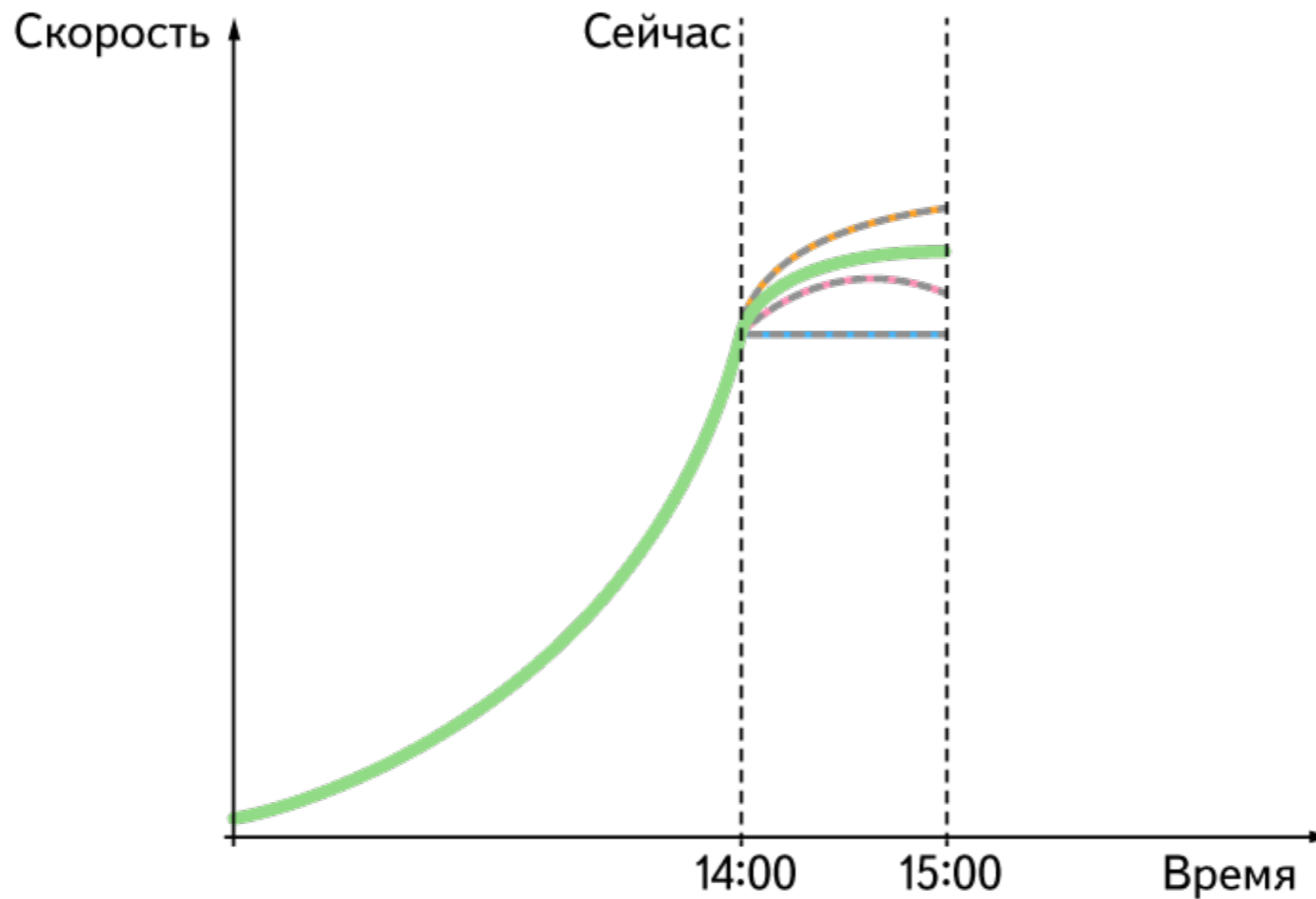
**Картина пробок #2**

# Метод k ближайших соседей



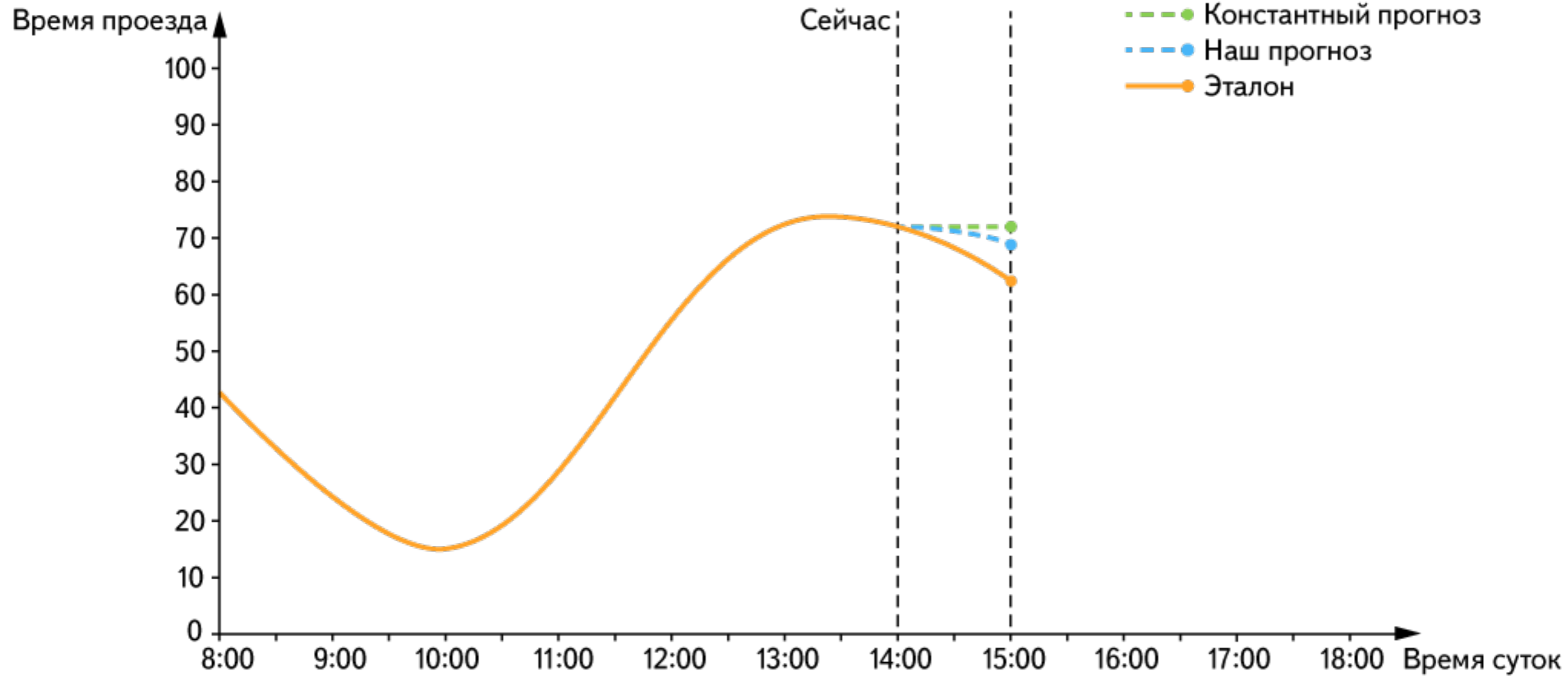
**Картина пробок #3**

# Метод k ближайших соседей

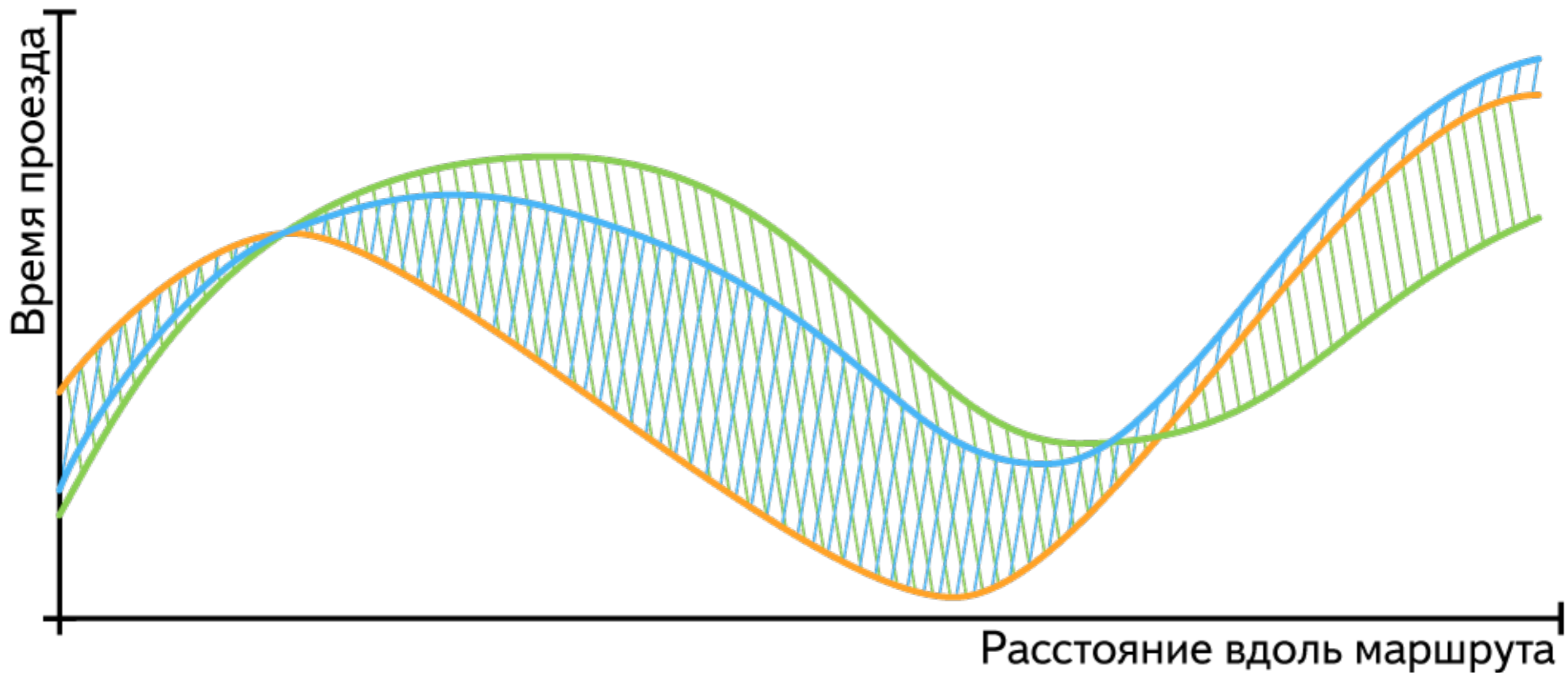


Прогноз: 
$$x_i^t = \frac{1}{k} \sum_{\tau \in N_k(x_i^t)} x_i^\tau$$

# Оценка качества



# Оценка качества

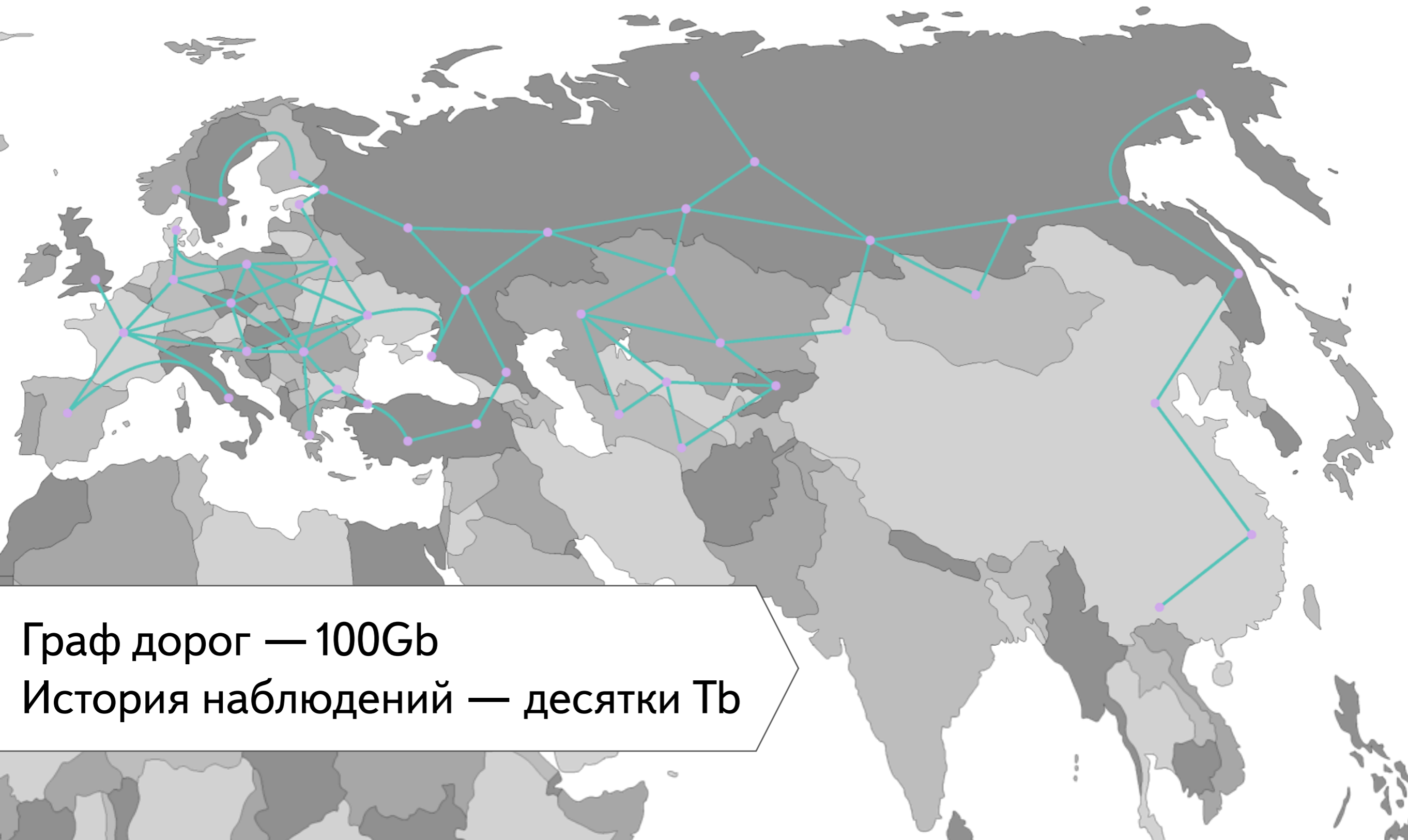


— Эталон    — Наш прогноз    — Константный прогноз

▨ Разница между эталоном и константным прогнозом

▨ Разница между эталоном и нашим прогнозом

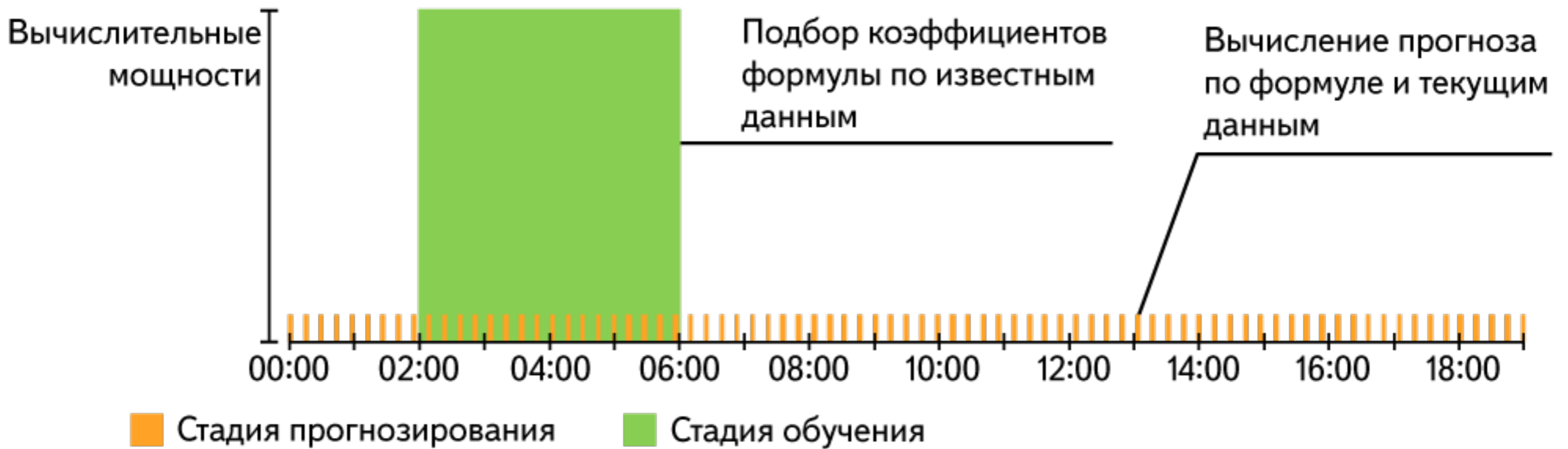
# Граф дорог



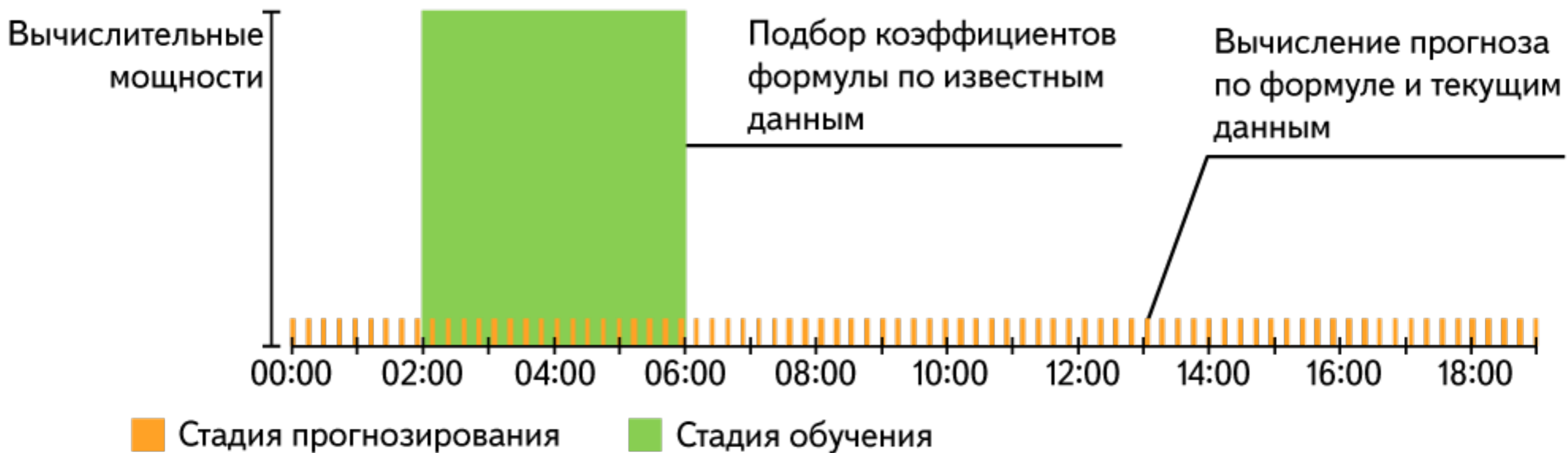
Граф дорог — 100Gb

История наблюдений — десятки Tb

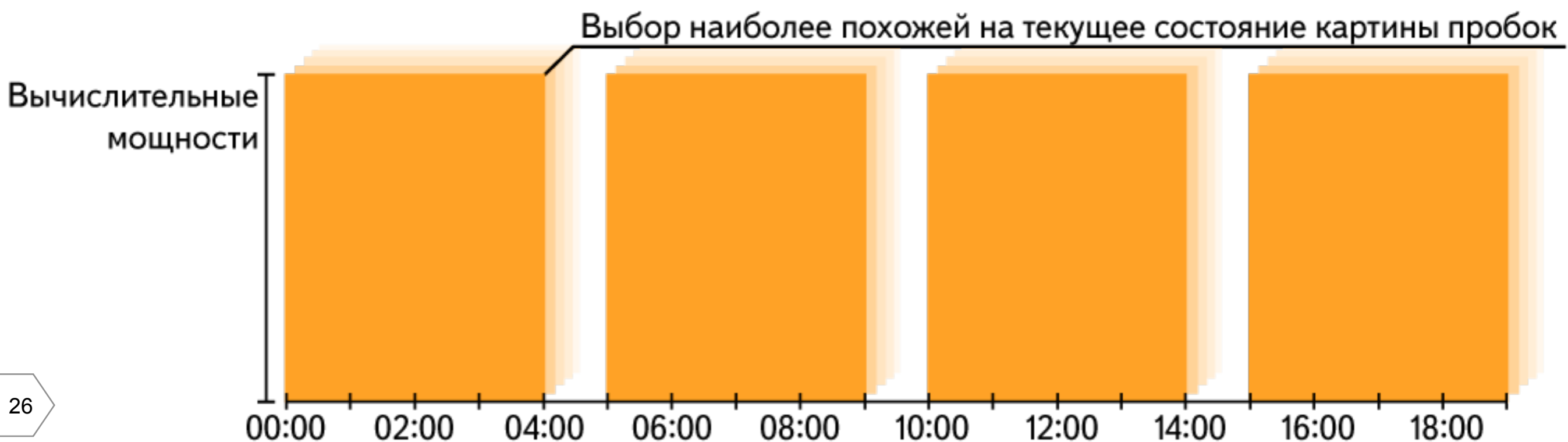
# Метод авторегрессии



# Метод авторегрессии



# Метод k ближайших соседей



Привязка треков  
к графу

4

Привязка треков  
к графу

Усреднение  
времен  
проезда

4

Привязка треков  
к графу

Усреднение  
времен  
поезда

4

Вычисление  
прогноза

Привязка треков  
к графу

Усреднение  
времен  
проезда

4

Построение  
визуальной  
картины пробок

Вычисление  
прогноза



Качество

Маршрут без учета пробок

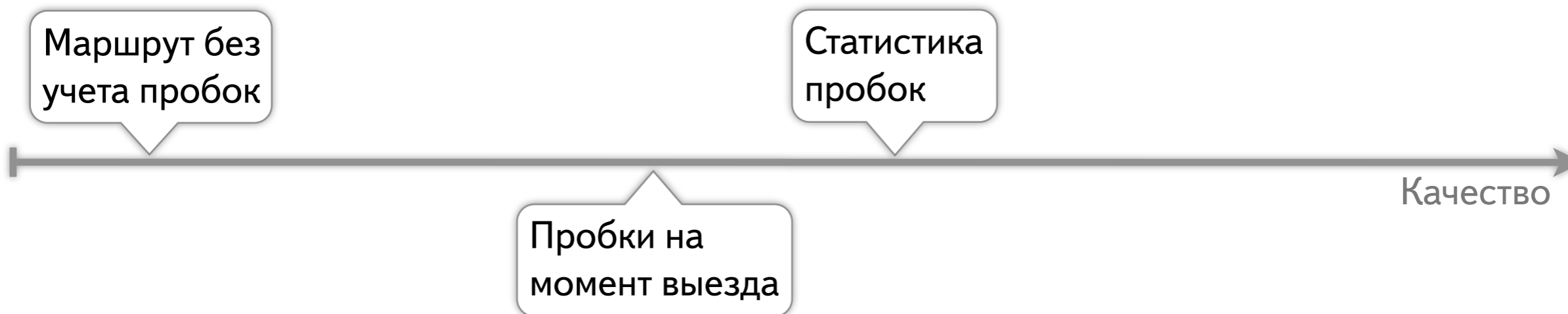
Качество

Маршрут без учета пробок



Качество

Пробки на момент выезда













## Пробки

сейчас



прогноз

На ближайшее время

16:30

16:45

17:00

17:15

17:30

На основе прогноза пробок

**Я**ндекс

Михаил Хохлов

Кандидат физико-  
математических наук

Разработчик

**Спасибо**