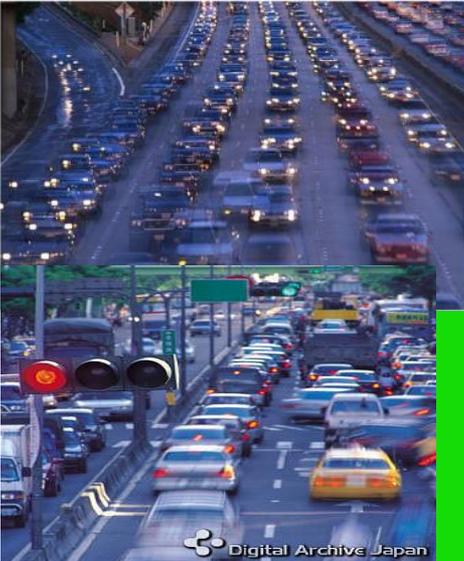


Теория и решение проблемы городских транспортных заторов



Кацухиро НИСИНАРИ
Токийский университет

Jamology Заторология



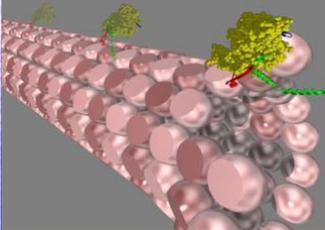
Digital Archive Japan

Скоростные
магистрали
Обычные
дороги
Светофоры
Автобусы
Трамваи



© 1999 www.daj.ne.jp

Станции
Места массовых
посещений
Массовые
мероприятия
Эвакуационные
мероприятия
Очереди
ожидания



Муравьи
Рыбы
Протеины



Складские
запасы
Дистрибуция
SCM



Кацухиро НИСИНАРИ, профессор

- Прикладная математическая физика
- “Jamology” (Заторология) – Организация движения автомобилей и пешеходов



Консультирование и совместная работа

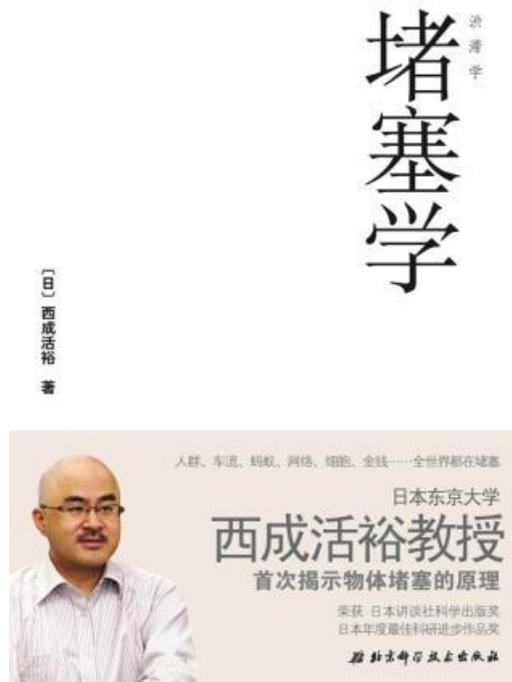
- 2008 ✓ Международный аэропорт Нарита (Иммиграционный процесс)
- 2009 ✓ Международный аэропорт Ханэда (Управление транспортом)
 - ✓ Национальное полицейское агентство (Организация Движения)
- 2010 ✓ Университет Умм Аль-Кура (Планирование Хаджа)
 - ✓ JFE Steel CO. Ltd. (Логистика на предприятии)
- 2011 ✓ Pioneer Co.Ltd. (Автомобильная навигационная система)
 - ✓ Honda Co. Ltd. (Система контроля движения)
 - ✓ Toyota Co. Ltd. (Интеллектуальная система транспортного потока)
 - ✓ NEXCO (Планирование парковочных зон на скоростных магистралях)
- 2012 ✓ Toshiba Co. Ltd. (Логистика внутри предприятия)



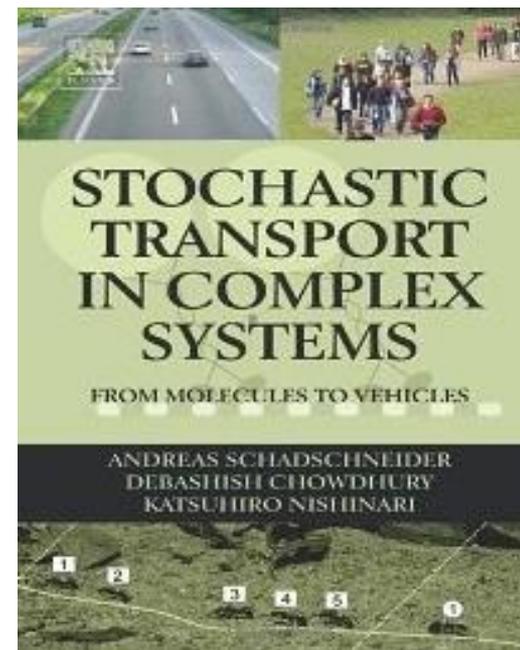
Книги по «Jamology» (Заторологии)



Оригинальная японская
версия
Сентябрь 2006



Версия на китайском
языке
Май 2011



Elsevier Science
Декабрь 2010

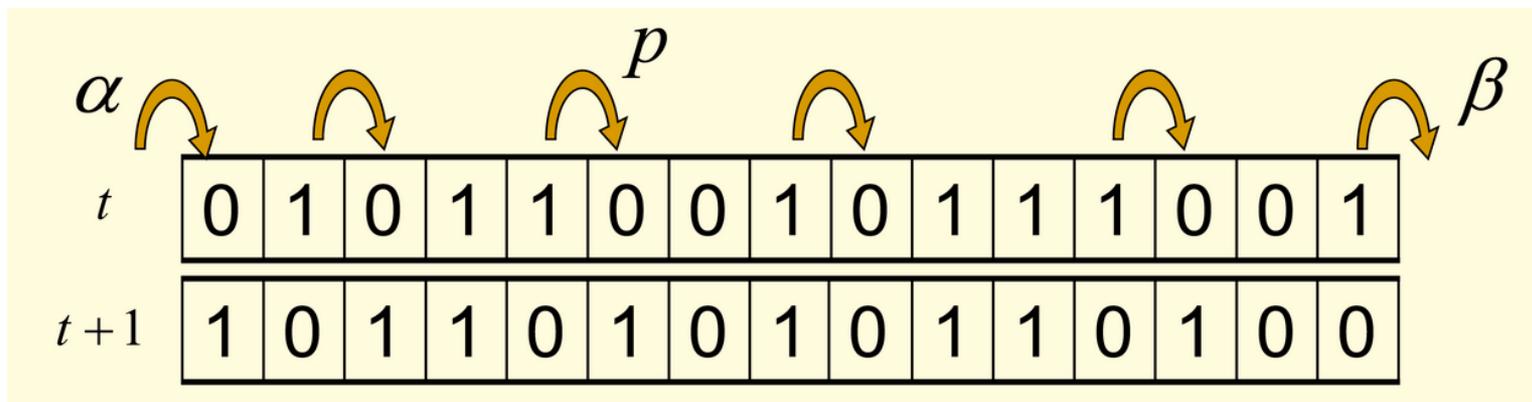
Приз за научную публикацию

ASEP=Простейшая модель дорожного движения

ASEP (Asymmetric Simple Exclusion Process)

Асимметричный процесс с простым исключением

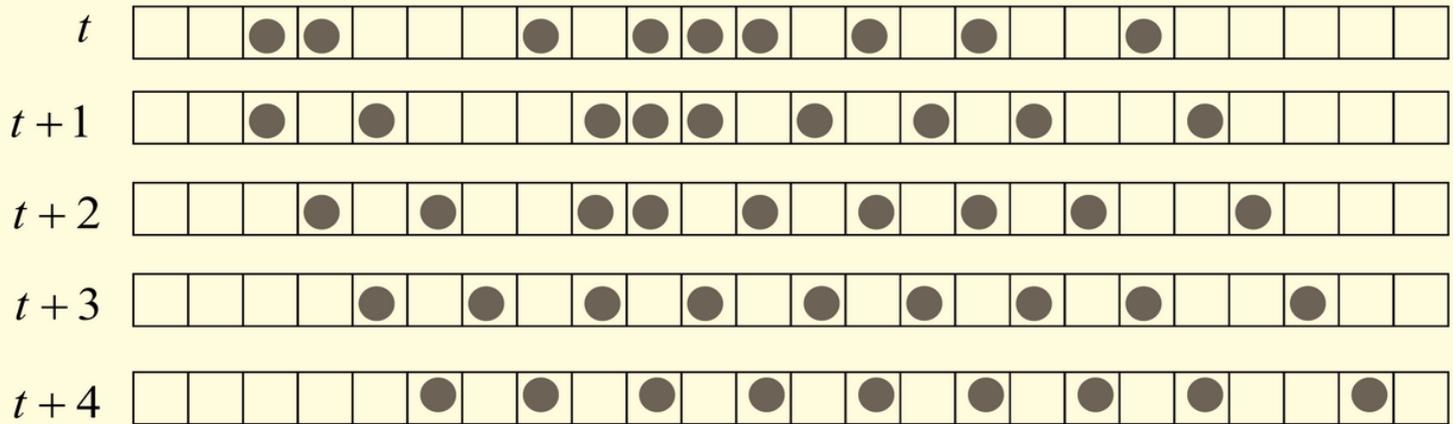
Правило: двигаться вперёд, если впереди пусто



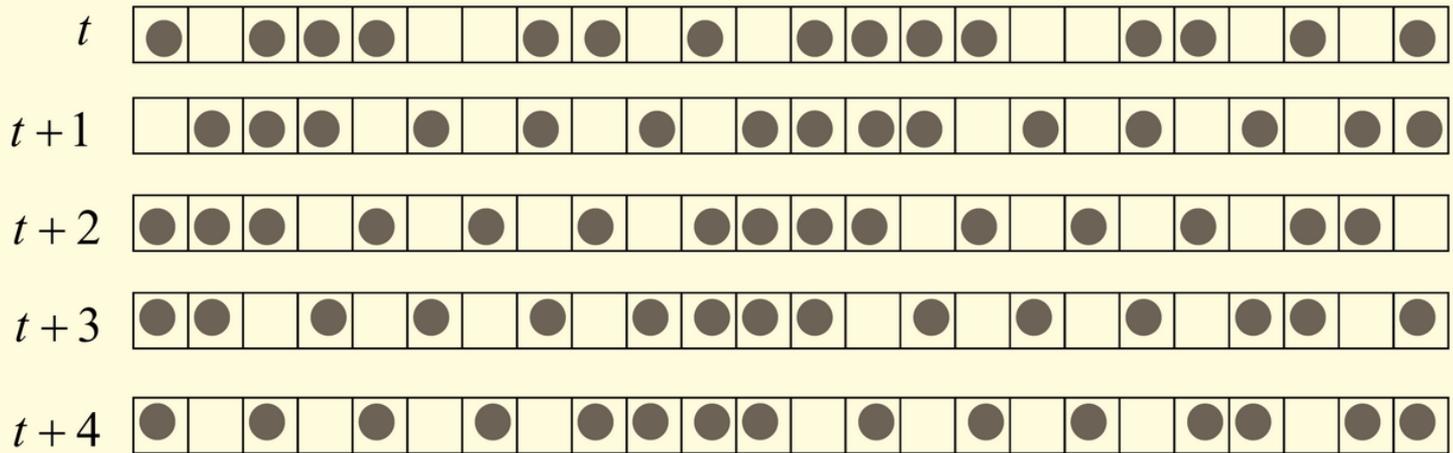
Это базовая модель для всех видов такого явления, как затор!

Свободный поток и Затруднённый поток

ПОТОК
Свободный



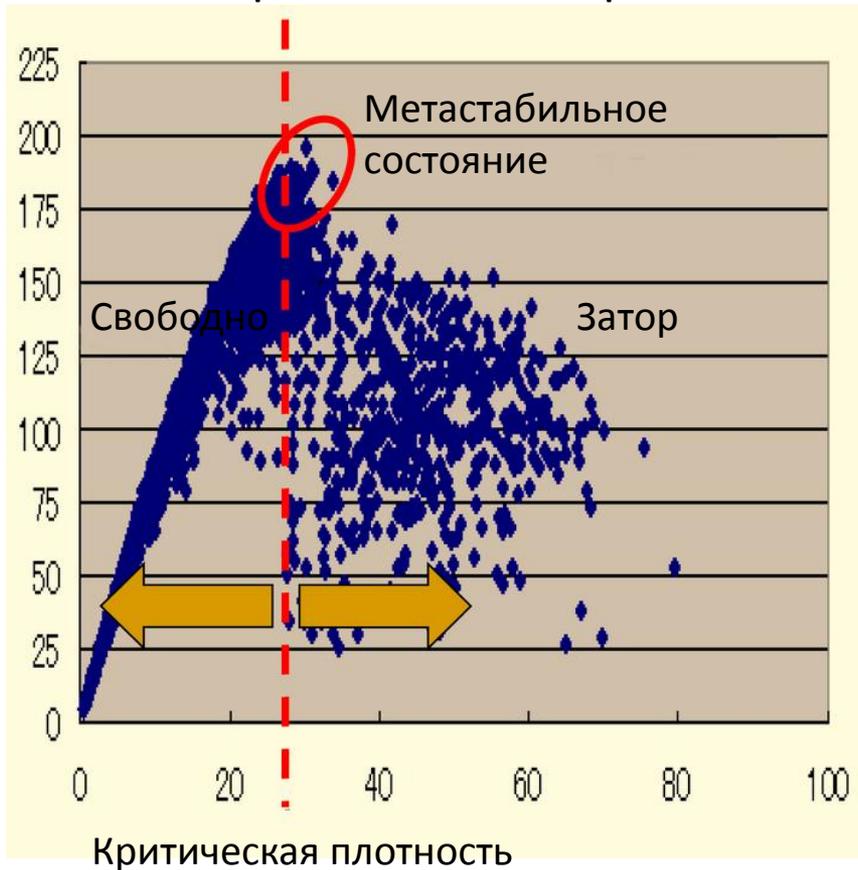
ПОТОК
Затруднённый



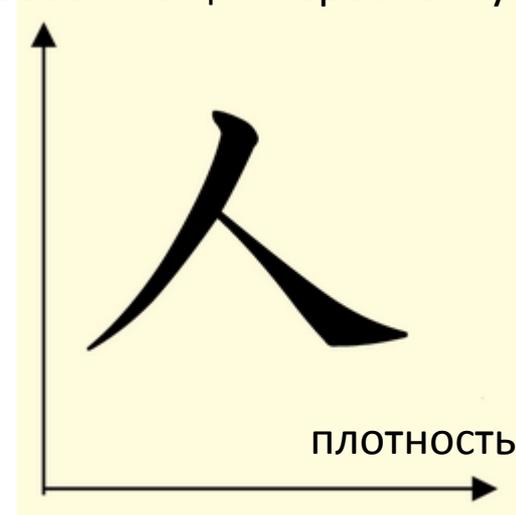
Данные о движении транспортных средств

Диаграмма плотности потока

Транспортные средства
на скоростной магистрали

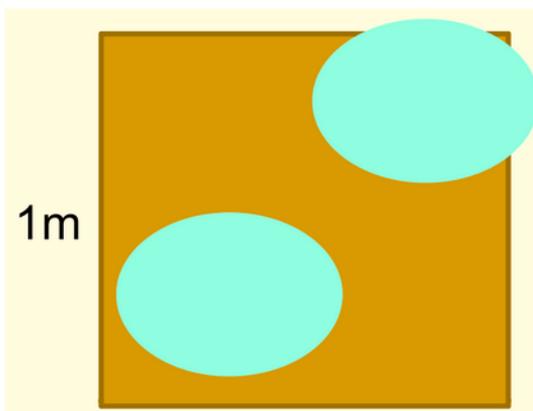


Поток
= количество автомобилей,
проезжающих через точку

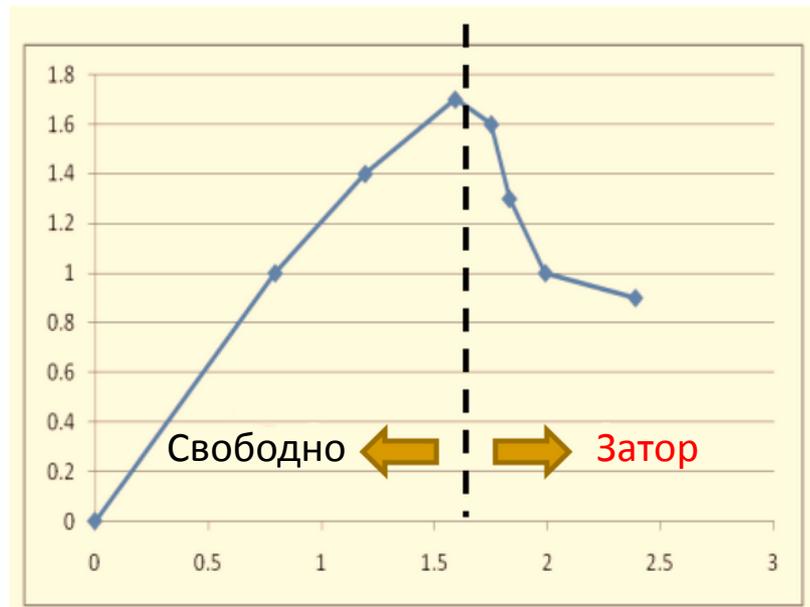


Метастабильное состояние
= Быстрый поток с высокой плотностью
= **Нестабильно**

Пешеходный поток



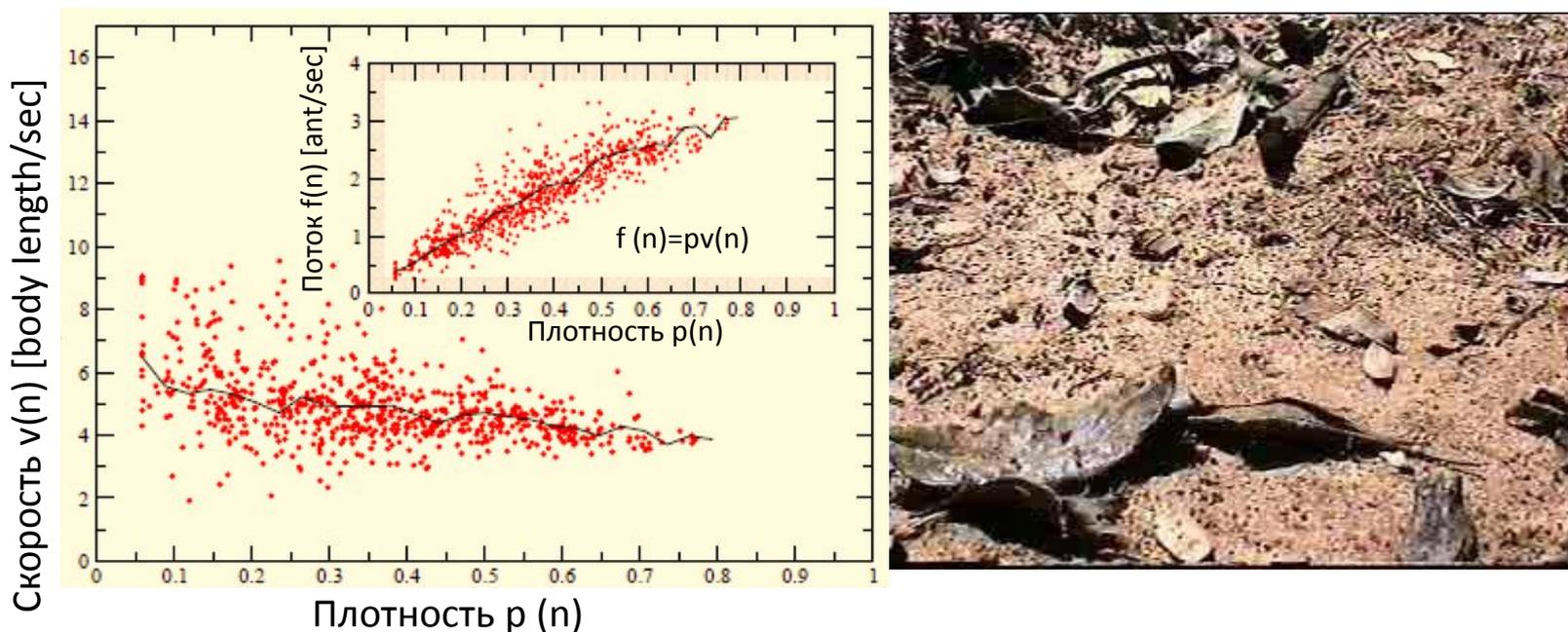
Поток (человек/(метр ширины в секунду))



Плотность (человек/м²)

Критическая плотность
= 1,8 человек/м²

На муравьиных тропах не бывает заторов!



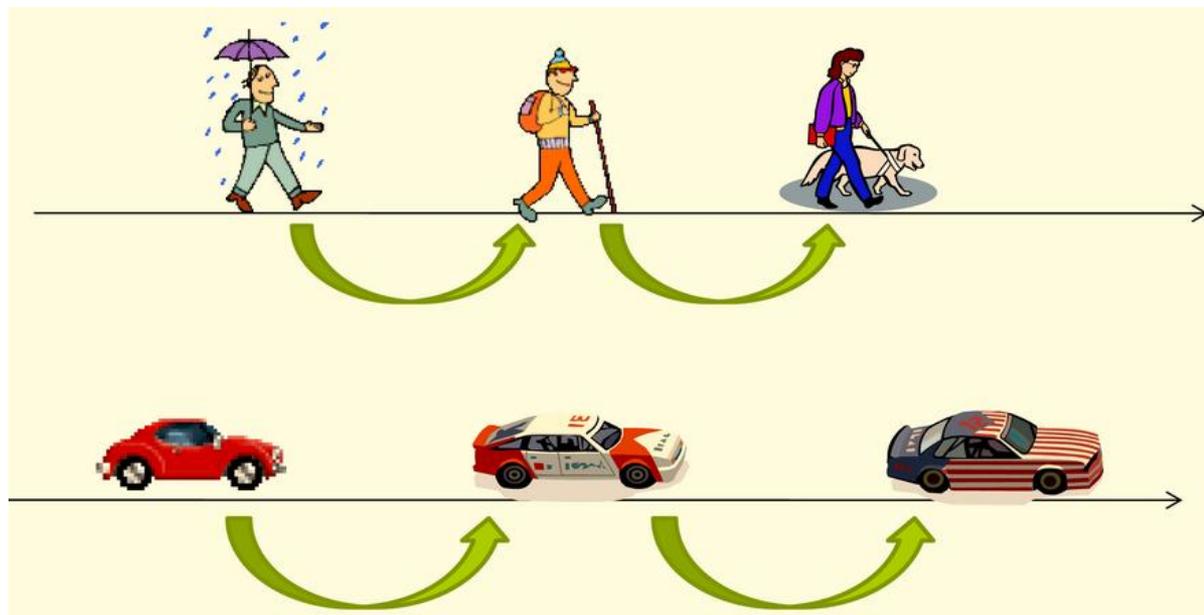
В данных наблюдений состояние высокой плотности ($> 0,7$) отсутствует .
Муравьи движутся с постоянной скоростью при плотности до 0,7.

“Traffic-like collective movement of ants on trails: absence of jammed phase” Phys.Rev.Lett. vol.102 (2009) p.108001

(Подобное транспорту коллективное движение муравьёв: отсутствие фазы затора)

Значение «выдерживания временного интервала»

1[s] для пешеходов,
2[s] для автомобилей!



Что Вы делаете в этом случае?

Эта дорога всегда перегружена!

Есть 3 пути решения...

- ① Строительство дополнительных полос
- ② Предоставления водителям информации о заторах
- ③ Обучение умному вождению и манерам

Мы не можем сказать, что «это наилучшее решение». Потому что существует компромисс между затратами, временем, осуществимостью, экологией...

Для разных сфер – разные решения

- **Дорожный инжиниринг: Hardware**
Обустройство инфраструктуры
- **Информатика: Software**
Предоставление информации
- **Социальные науки: Human**
Взаимодействие, просвещение



	Достоинства	Недостатки
Hard	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Даёт эффект сразу после внедрения ▪ Имеет обязательную силу 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Высокие затраты на внедрение ▪ Трудно вносить изменения в случае неудачи
Soft	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Затраты на внедрение можно сделать умеренными ▪ Обладает определённой адаптивностью и гибкостью 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Бывают случаи, когда люди испытывают трудности в использовании ▪ Бывают случаи, когда люди не придерживаются практики
Human	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Часто затраты бывают невысокими ▪ Гибкое использование путём изменения подхода 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Требуется время ▪ Бывают случаи, когда люди не придерживаются практики

Причины дорожных заторов

□ Внешние External

С постоянным местом возникновения (Static), неподвижное узкое место (Bottleneck), баланс входящего и исходящего потоков (In-Out balance),
Пример) Подъёмы и спуски, сложная структура дорог (Road structures)

□ Внутренние Internal

Со спонтанным местом возникновения (Dynamic)

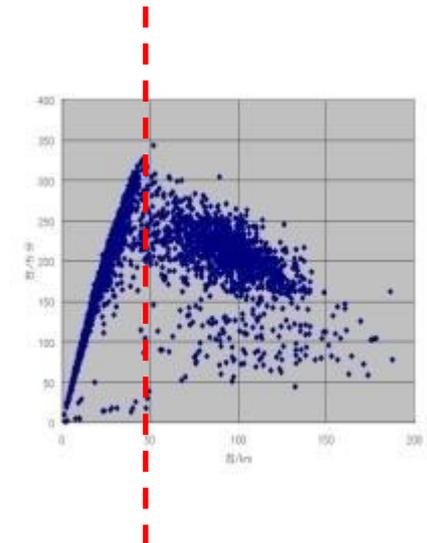
Явно выраженная нестабильность потока (Instability of flow), подвижное узкое место (Moving Bottleneck)

Пример) Смешанное присутствие легковых автомобилей, грузовиков, автобусов общественного транспорта (Mixture)

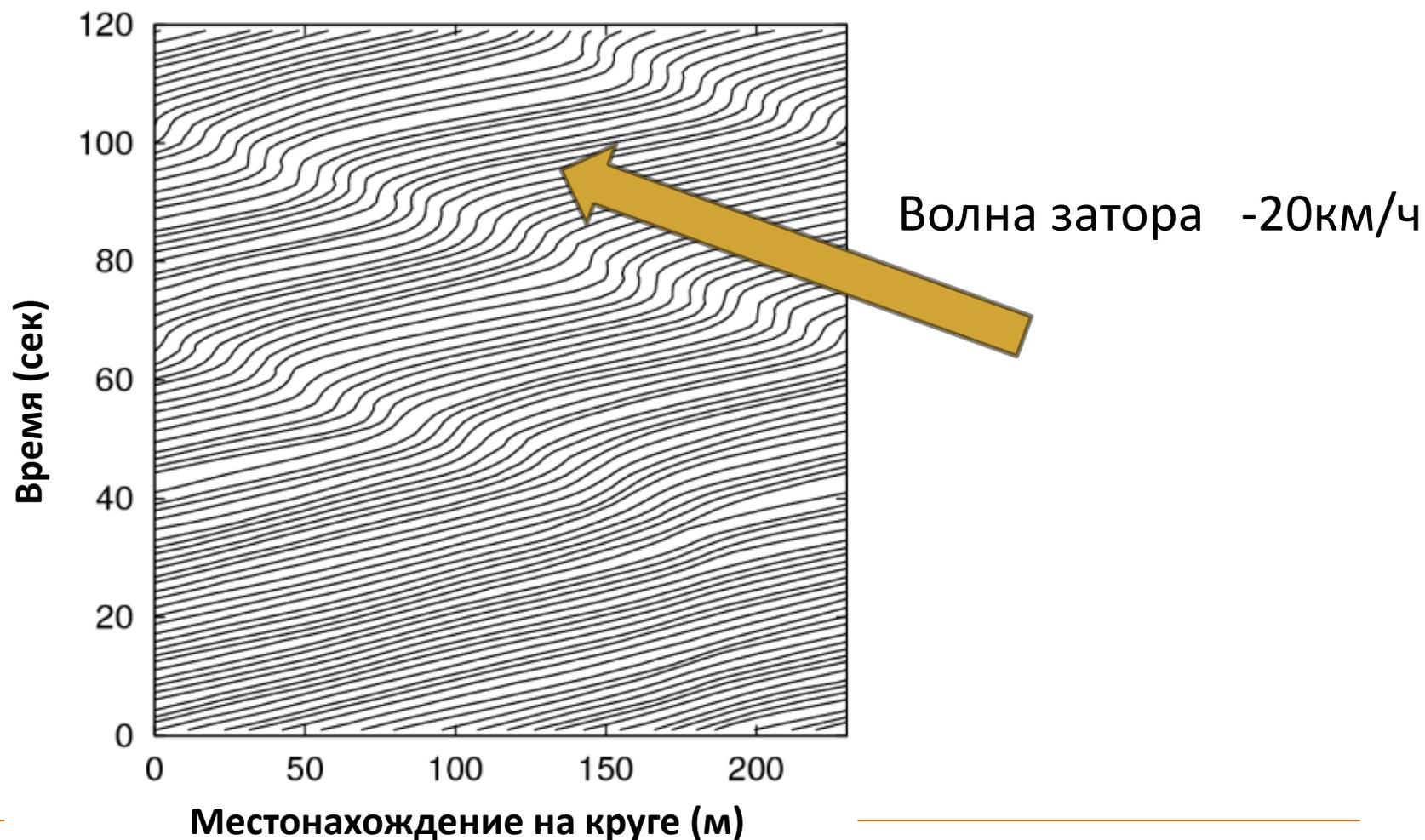
Смена полосы движения, стиль вождения (Driving technique)

Эксперимент самопроизвольного образования затора

Дорожный затор = нестабильность транспортного потока



Волна затора распространяется в сторону, противоположную направлению движения



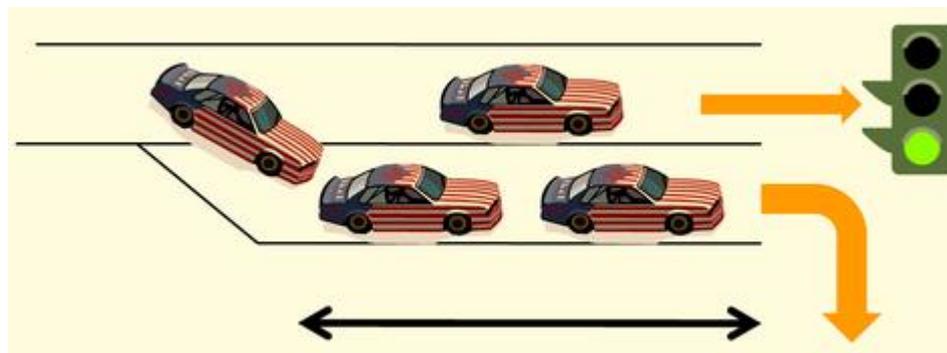
Скорость затора – 20км/ч имеет значение для фаз светофора на пересечении

Обустройство города
Настройки фаз светофоров
на перекрёстках



Скорость – 20км/ч 
На 1 автомобиль – около 1,3 секунд

Является ли оптимальным
количество секунд сигнала
для поворота направо?
Невыполнимый сигнал,
бесполезный сигнал



Метастабильный поток
=нестабилен при возмущениях



Как справиться с дорожным затором?

Снизить скорость и сохранять дистанцию до участка с затором



Автомобиль-абсорбер
есть

Автомобиля-абсорбера
нет

Выпуск новой автомобильной навигационной системы

CyberNavi AVIC-VH09CS (Pioneer)

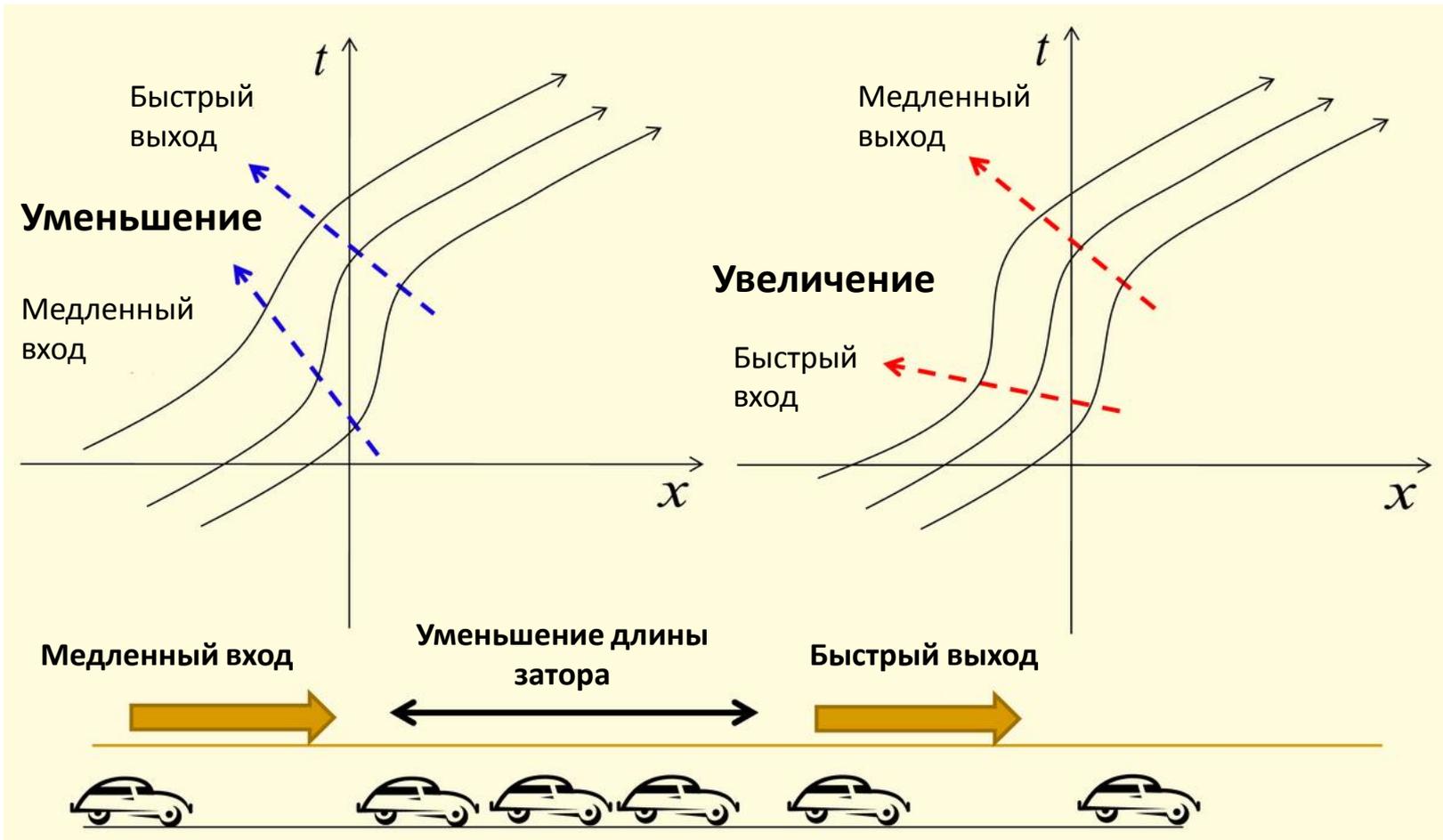
2011.5



Указание дистанции

Увеличение и уменьшение затора

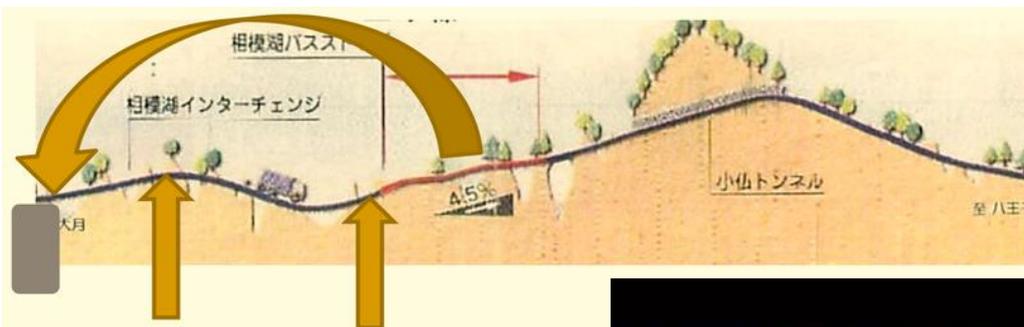
Вождение с медленным входом и быстрым выходом
=самый дешёвый способ справиться с затором



Социальный эксперимент на реальной дороге

15 марта 2009

Центральная автомагистраль, возле туннеля Коботоке



8 автомобилей

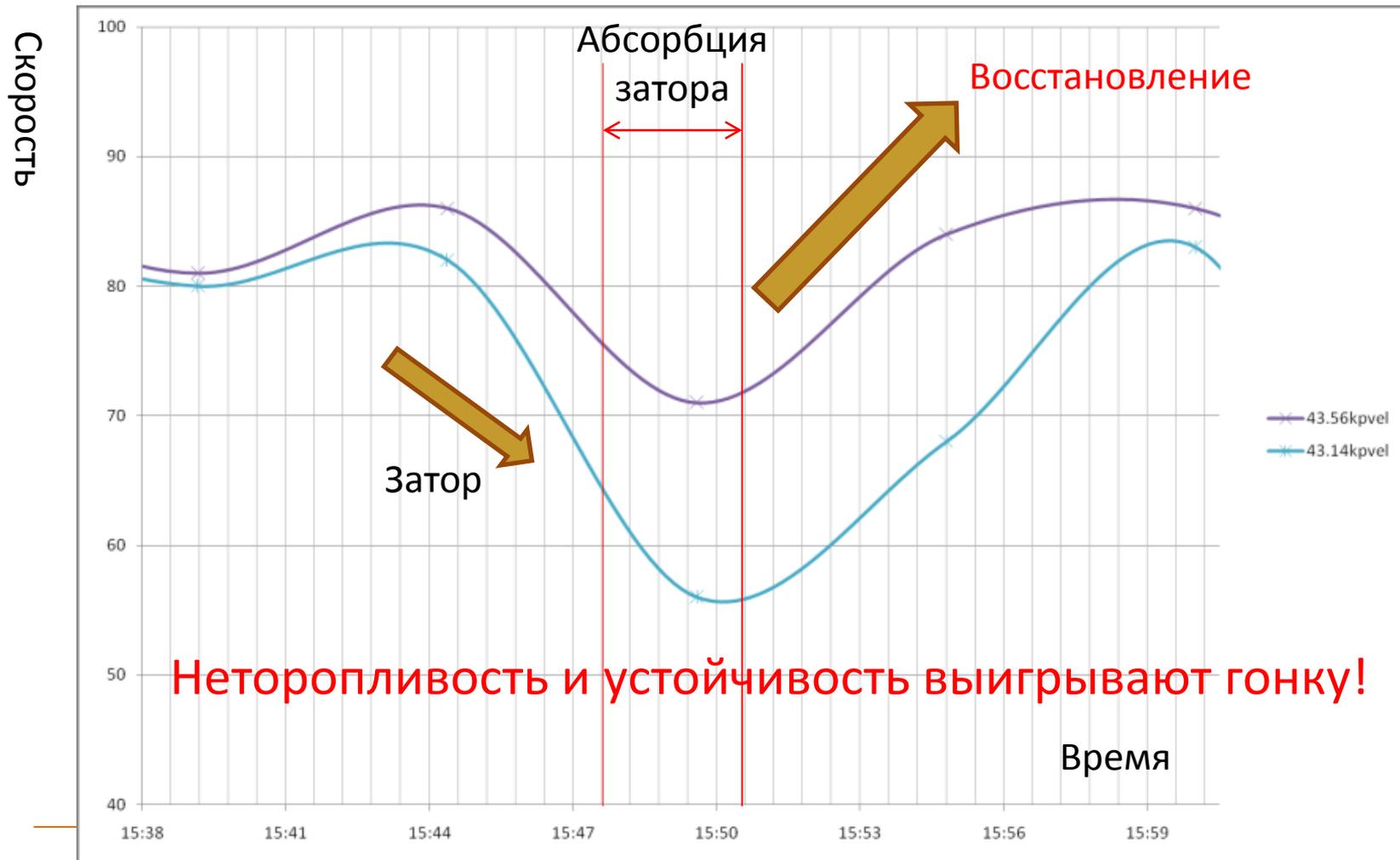
- 1+3 полоса движения
- 1+3 обгонная полоса

Медленный вход Быстрый выход

- 1) Ожидание возникновения небольшого затора.
- 2) Поддержание скорости 79км/ч в качестве медленного входа.

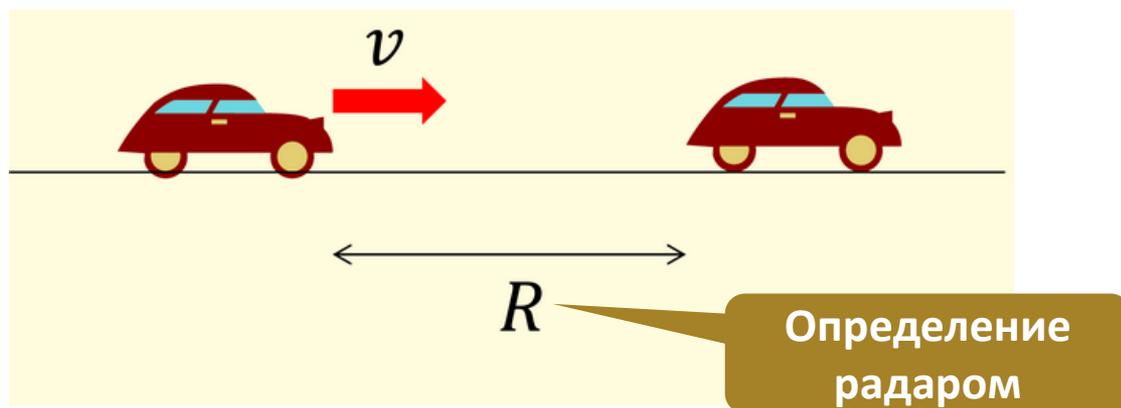


Восстановление скорости автомобилями-абсорберами затора



ACC можно использовать в фазе «Быстрого выхода»

ACC (Адаптивный Круиз Контроль) может контролировать временной интервал



Скорость v устанавливается как $R = vT$

Запаздывание реакции на идущий впереди автомобиль становится очень маленьким!

Система для вождения с «Медленным входом»

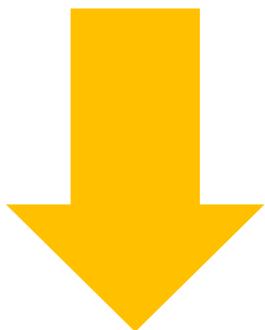
Variable Speed Limit (VSL)

Изменяемое ограничение скорости

□ Ограничение скорости



Стабилизирует транспортный поток
Больше безопасности!



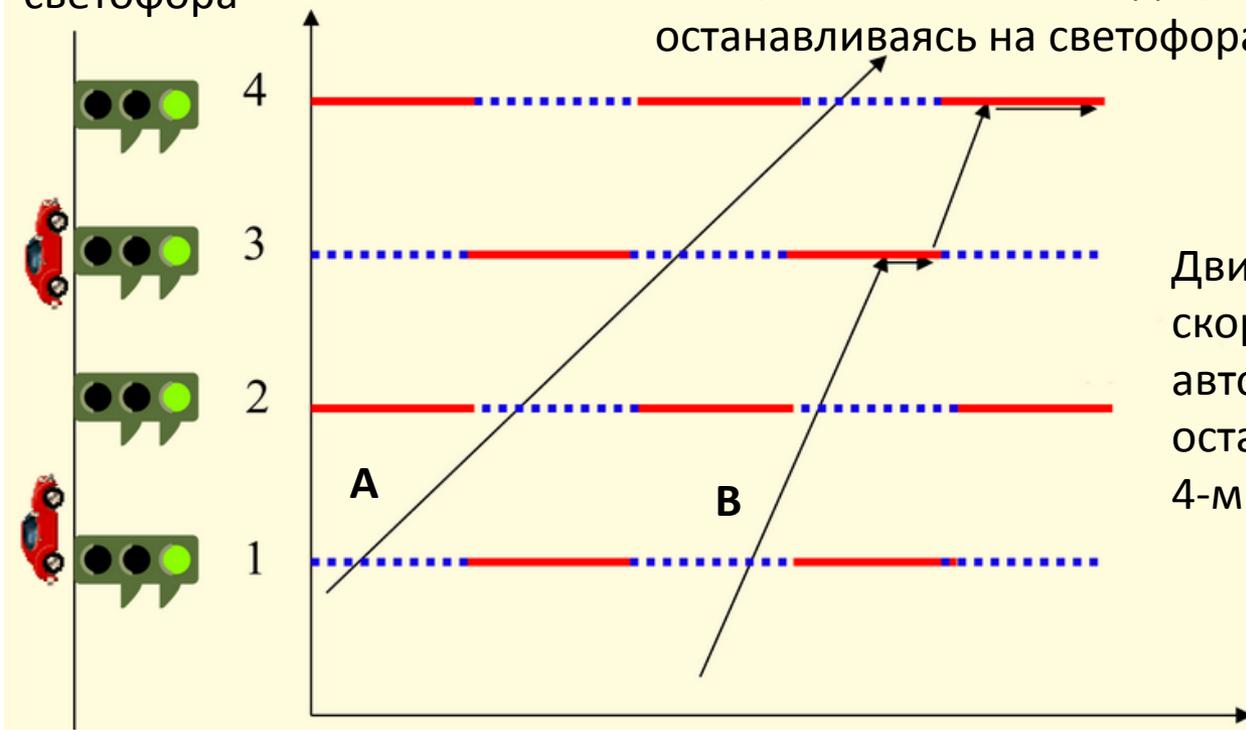
Меньше затора

Ограничение количества потока, прибывающего в зону затора
Смягчение и поглощение волны попадания в затор, волны остановок и стартов



Зелёная волна светофоров

Месторасположение
светофора



Движущийся со скоростью
40км/ч автомобиль **А** едет, не
останавливаясь на светофорах

Движущийся со
скоростью 70км/ч
автомобиль **В**
останавливается на 3-м и
4-м светофорах

Быстро перемещаться невыгодно! = к снижению выброса CO₂

Затор в месте слияния транспортных потоков

Решение

= запретить быструю смену
полосы движения

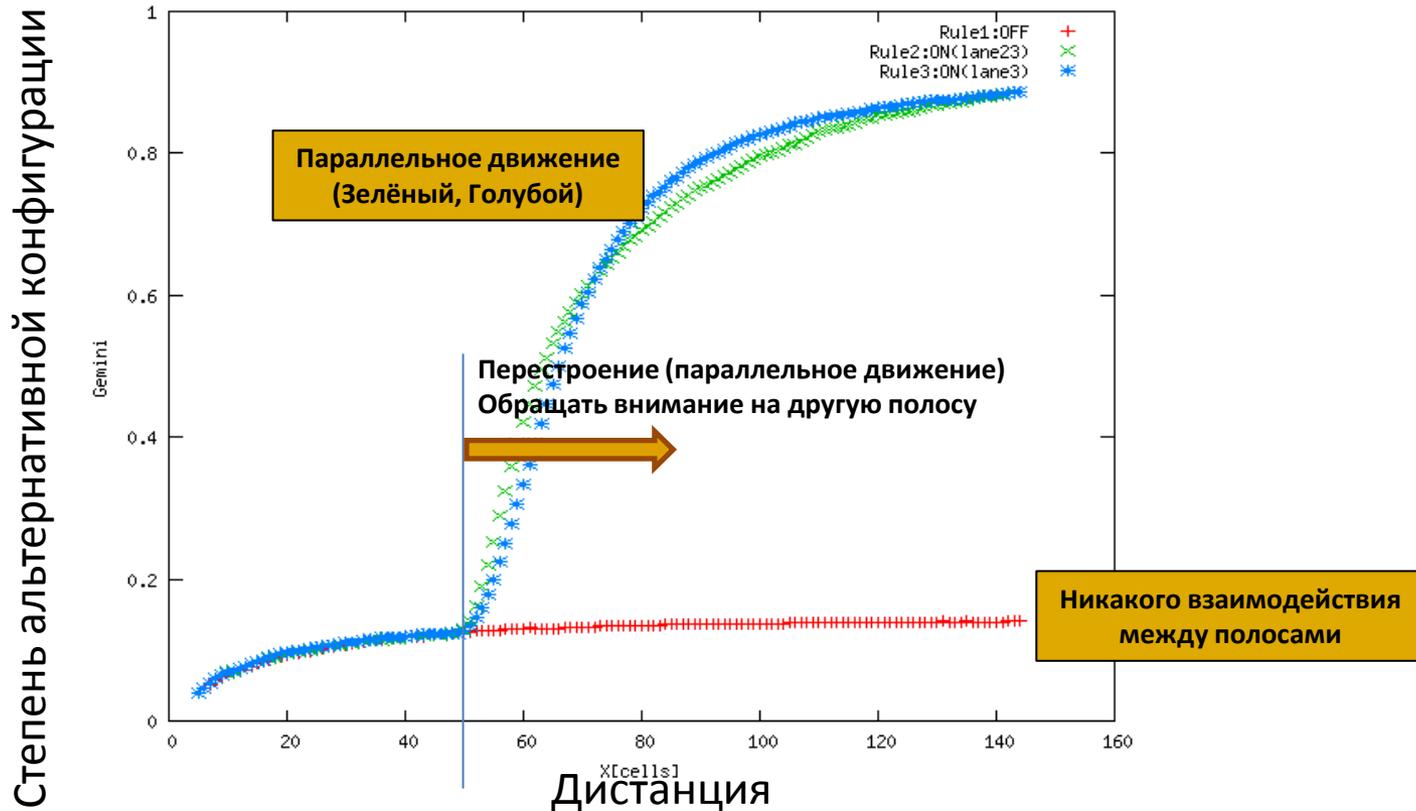


Перестроение подобно
застёжке-молнии!



Подтверждение с помощью компьютерного моделирования

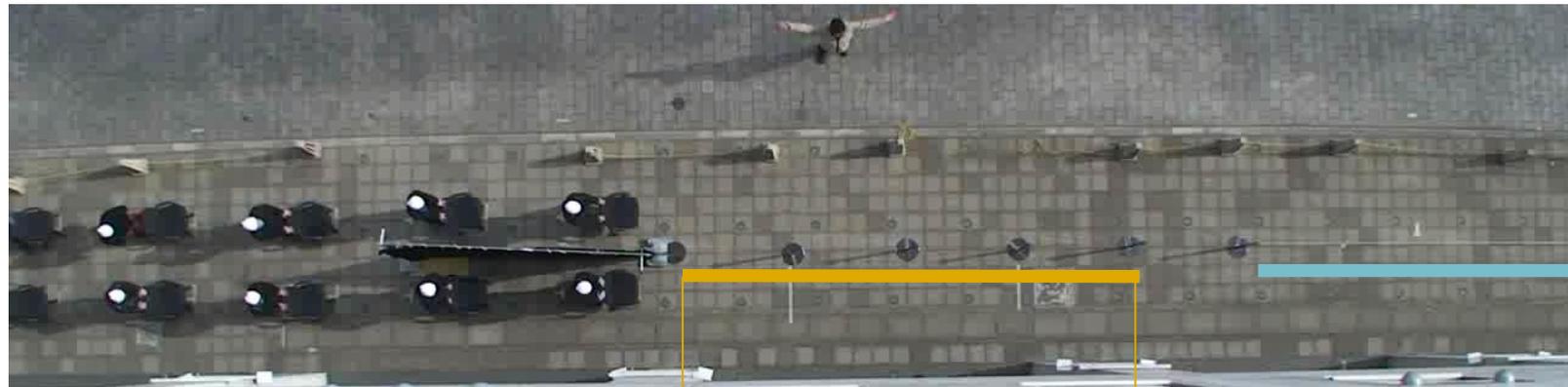
R. Nishi, H. Miki, A. Tomoeda and K. Nishinari, Phys. Rev. E 79, 066119 (2009)



Эксперимент с пешеходами

(верх) разделения нет

(низ) разделение 7,2 м



7200 мм

Задача администрации

Внедрение оценки загруженности

Оценка и определение количественного показателя степени транспортной напряжённости

Пример: внедрение LOS (Level of Service) - Уровень Сервиса
Показ «ценности пространства» для человека.

Таким же образом, осуществление оценки перегруженности каждого участка.

Площадь личного пространства в местах скопления людей

LOS A : более 1.2 м²

LOS B : 0.93-1.2 м²

LOS C : 0.65-0.93 м²

LOS D: 0.28-0.65 м² (от затруднения движения до полной остановки)

LOS E: 0.19-0.28 м² (состояние полной остановки, при этом люди соприкасаются друг с другом)

LOS F : менее 0.19 м² (состояние плотного контакта)

LOS для дороги



Level of Service A: Свободное движение, при котором пользователи не испытывают влияния от присутствия других участников в транспортном потоке.



Level of Service B: Стабильный транспортный поток с высокой степенью свободы выбора скорости и режима вождения, но с некоторым влиянием от других пользователей.



Level of Service C: Стеснённый поток, который остаётся стабильным, но взаимодействие с другими участниками в транспортном потоке значительно. Уровень комфортности и удобства на этом уровне сервиса заметно снижается.



Level of Service D: Поток с высокой плотностью, в котором скорость и свобода маневрирования сильно ограничены, и уровень комфортности и удобства снижен, даже если поток остаётся стабильным.



Level of Service E: Нестабильный поток на пределе пропускной способности или близко к нему, с низким уровнем комфортности и удобства.



Level of Service F: Скопанный транспортный поток, в котором количество транспорта, прибывающего в точку, превышает то количество, которое может быть пропущено. LOS F характеризуется волнами остановок и стартов, плохими показателями времени в пути, низким уровнем комфортности и удобства, и увеличенными рисками ДТП.

Обустройство города в соответствии с оценкой загруженности

- Если на загруженном районе построить жилой район, то загруженность ещё больше возрастёт



В результате постройки одного большого многоквартирного дома количество автомобилей увеличивается более чем на 100. Поездки на работу и обратно приводят также к сильной загруженности станций и электропоездов.

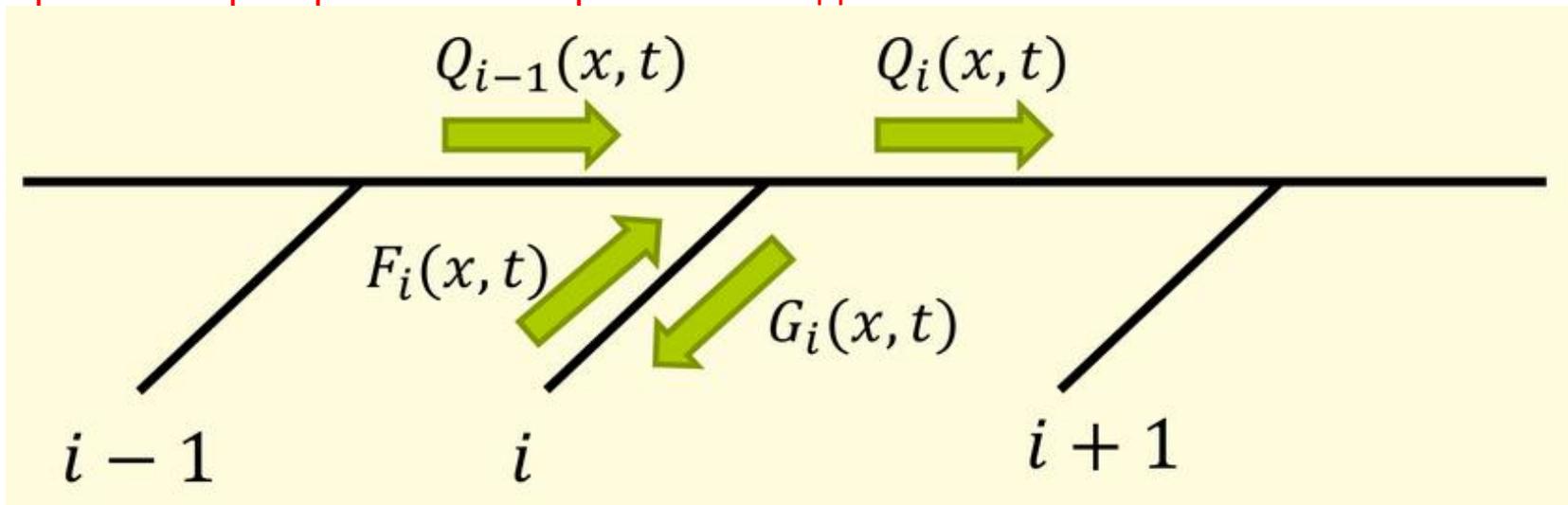
- Необходимо сделать стандартной процедуру оценки загруженности при строительстве крупных объектов и туристических зон, и производить точную оценку степени воздействия на загруженность.

Пример) Использовать верификационные программы и т.п. Например, в случае, если LOS опускается на 2 степени ниже, не давать разрешения на строительство.

На основе надлежащего баланса ограничений и свобод, добиваться максимальной степени комфортности передвижения как для отдельно взятого человека, так и для всей социальной среды

Менеджмент транспортного спроса

- Прогнозирование – на основании предшествующей статистики, прогнозировать транспортный спрос на этот год
- Для того чтобы он не превышал пропускной способности дорог, применять стратегию пространственно-временного сдвига



Интенсивность движения $Q_i(x, t) = Q_{i-1}(x, t) + F_i(x, t) - G_i(x, t)$

Заблаговременно осуществлять пространственно-временные сдвиги $F_i(x, t)$
для того, чтобы показатель $|Q_i(x, t)|$
всегда был меньше пропускной способности Q_M : $|Q_i(x, t)| < Q_M$

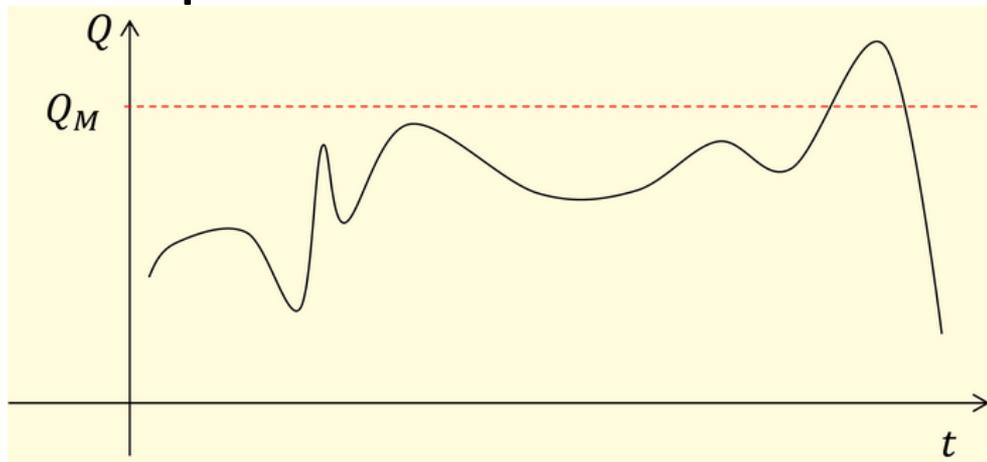
Предоставление информации о заторах

Распространение информации по телевидению, радио и через интернет в режиме реального времени

Загруженность 100%



Загруженность 0%



Рассылка в режиме реального времени

В автомобиле: радио, смартфон

Перед выездом: телевидение, радио, компьютер

Сбор данных счётчиками движения и мониторингом местоположения автомобилей

Дилемма между выгодой индивида и общей выгодой

Вопрос о выборе маршрута

2 маршрута из точки X в точку Y

○ маршрут A: время пропорционально количеству автомобилей

○ маршрут B: время всегда составляет 10 минут

Какой маршрут выберут 10 автомобилей для перемещения из точки X в точку Y?

① **Равновесие пользователя User equilibrium (UE)**

A: 10 автомобилей B: 0 автомобилей

Если предоставить выбор пользователям, то все выберут маршрут A

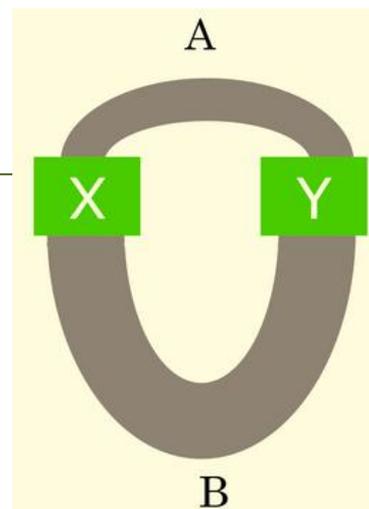
② **Оптимум системы System optimum (SO)**

A: 5 автомобилей B: 5 автомобилей

В этом случае совокупное время в пути всех участников будет наименьшим

В случае ①, совокупное время в пути составит 100 минут, в случае ② - 75 минут
Другими словами, в случае ①, когда преследуется личная выгода, общество в целом проигрывает!

(Nash equilibrium, Равновесие Нэша)

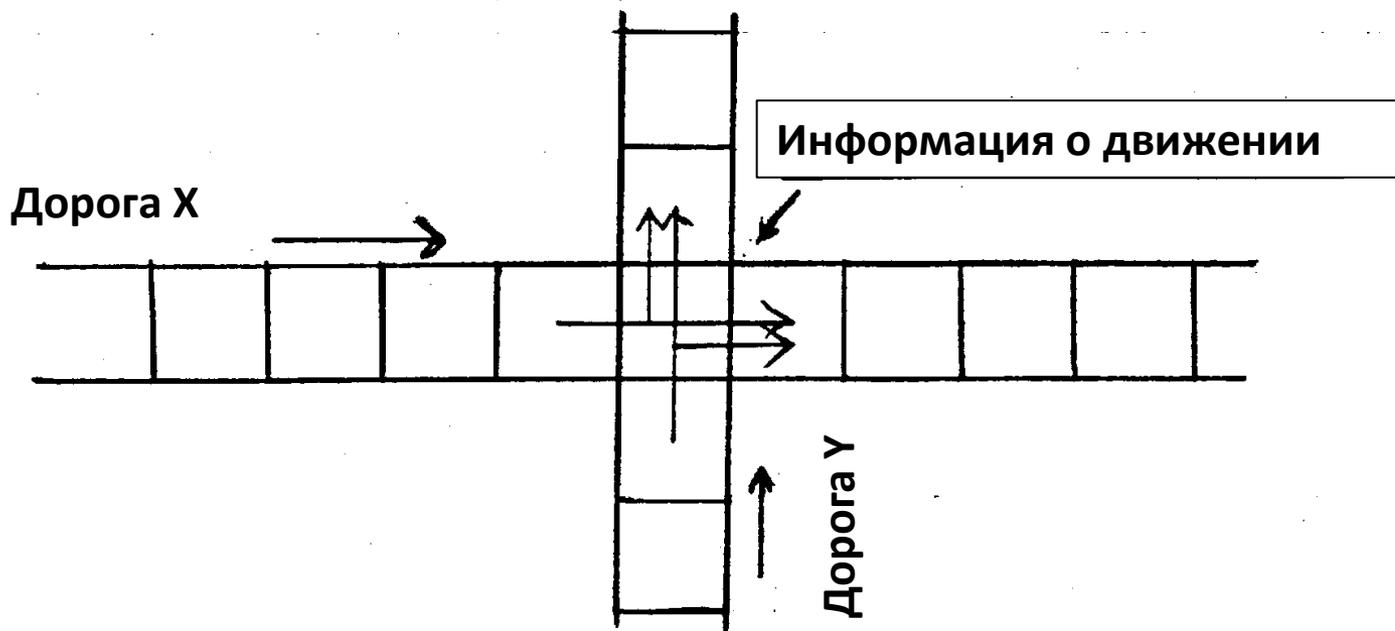


Предоставление информации усугубляет ситуацию

Движение с перекрёстком

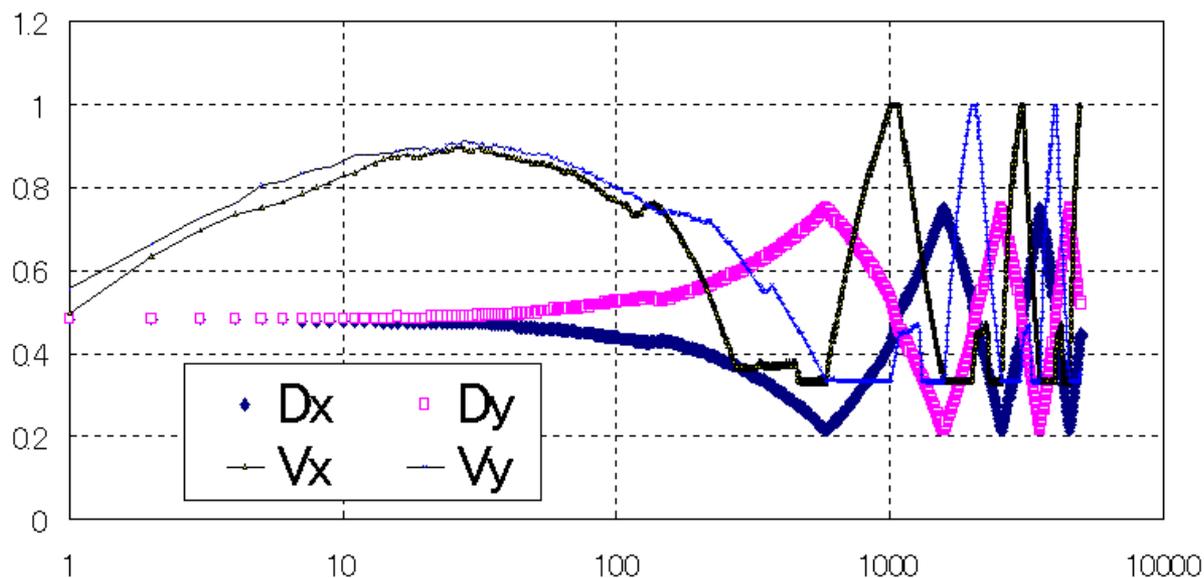
Движение происходит по модели ASEP ($p=1$), на перекрёстке имеется выбор альтернативного проезда.

Глядя на информационное табло, показывающее среднюю скорость на каждой из дорог, нужно выбрать тот путь, который быстрее.



Плотность и скорость потока на каждой дороге
Колебания возникают в случае, если **Плотность < 0.75**

(Эффект рыскания)



D=Плотность (Density)

V=Скорость (Velocity)

Время

Плотность=0,46

Возможность интеркоммуникации между автомобилями, дорогами, автомобилями и пешеходами

Совершенствование IT-технологий в автомобилях

Безопасность

○ Безопасность от столкновений

CAN-коммуникация между устройствами, носимыми людьми, и автомобилями

○ Предотвращение ДТП

(Мониторинг мест, где происходит экстренное торможение)

Эффективность и окружающая среда

○ Планирование распределения автомобилей, измерение расхода топлива

Гомеостаз риска

Явление, когда в результате внедрения оборудования и систем, повышающих уровень безопасности, в качестве обратного эффекта происходит успокоение и ослабление внимания у людей, что сводит на нет эффект повышения уровня безопасности, достигаемый благодаря оборудованию = «гомеостаз риска»

Трудности при рассмотрении человеческого фактора

Пример 1: Count-down signal Светофор на пешеходном переходе с обратным отсчётом времени

Достоинство: смягчение стресса , возникающего во время ожидания

Недостаток: бывают случаи, когда увеличивается количество пешеходов, игнорирующих сигналы светофора

Пример 2: "Expressional lamp" Установка в автомобилях ламп выражения эмоций

Достоинство: возможность общения между автомобилями

Недостаток: из-за возрастания количества информации и усилий для её распознавания, бывают случаи возникновения ДТП

Пример 3: Putting helmet Одевание шлемов велосипедистами

Достоинство: увеличение степени безопасности при столкновении и падении

Недостаток: проезжающие сбоку автомобили сокращают расстояние

Обратная идея, не полагающаяся на инфраструктуру

Совместно используемое пространство

Shared Space

= Сокращение количества ДТП

Удаляются светофоры, дорожные знаки и разметка,

движение осуществляется совместно автомобилями и пешеходами

Правилом дорожного движения является «чуткость по отношению друг к другу»

Есть примеры уменьшения количества ДТП в результате снижения скорости автомобилей и проявления внимания к водителям со стороны пешеходов

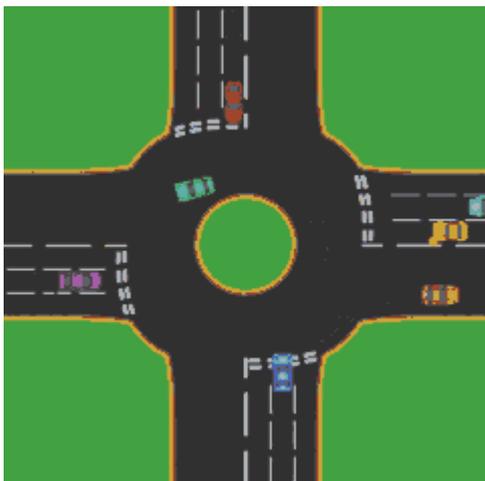
Материал

<http://www.elfferding.de/report/sharedspace.html>



Участок дороги с круговым движением =Перекрёсток без светофоров

Эффективен при низкой плотности движения



Иллюстрации взяты из Wikipedia

Коренное решение проблемы заторов

Пространственное и временное распределение

Диверсификация уклада жизни

Пример сдвига выходных дней во Франции

-> Во Франции, Германии и других странах есть разные выходные в разных регионах!

Заключение

- Cause of jam Правильное понимание причин, из-за которых возникают заторы
 - Internal & External Причины внутренние и внешние
- Congestion Assessment
 - Необходимость осуществления оценки загруженности
- Balance between Soft, Hard, Human
 - Важно совмещать и гармонично сочетать Soft, Hard и Human.
 - Если хотя бы одного элемента не хватает, система работать не будет.
- Induced traffic Следует быть осторожным в отношении спровоцированных транспортных потоков
 - Бывает и так, что после строительства новых дорог с целью устранить заторы, они становятся сильнее