



# 21st Transport Sector Coordinating Committee Meeting

22–23 April 2024 • Almaty, Kazakhstan

## 21-е заседание Координационного комитета по транспортному сектору

22–23 апреля 2024 года • Алматы, Казахстан



# Большие данные, искусственный интеллект и цифровизация

**Доктор С. Трэвис Уоллер**

Управляющий директор  
Mobility Thinking Pty Ltd



# Эволюция транспортного моделирования для поддержки планирования

## Появление больших данных / всеобъемлющих данных

Альтернативы традиционным источникам

Потенциал экспоненциального ускорения, а также проблемы (формат, содержание)

## Передовые инструменты искусственного интеллекта для статистики и машинного обучения

Потенциал для автоматизации традиционно трудоемких задач

Требуются новые навыки и специалисты, но необходимо понимать планирование

## Возросшая потребность в открытости, равенстве и устойчивости

Внедряет новые количественные показатели и более широкие показатели (экологическая справедливость, равенство, устойчивость)

Мы должны высвободить наше время, чтобы расширить то, что мы можем сделать (исключить повторяющиеся действия).

# Эволюция транспортного моделирования для поддержки планирования

## Появление больших данных / всеобъемлющих данных

Альтернативы традиционным источникам

Потенциал экспоненциального ускорения, а также проблемы (формат, содержание)

## Передовые инструменты искусственного интеллекта для статистики и машинного обучения

Потенциал для автоматизации традиционно трудоемких задач

Требуются новые навыки и специалисты, но необходимо понимать планирование

## Возросшая потребность в открытости, равенстве и устойчивости

Внедряет новые количественные показатели и более широкие показатели (экологическая справедливость, равенство, устойчивость)

Мы должны высвободить наше время, чтобы расширить то, что мы можем сделать (исключить повторяющиеся действия).

Н  
А  
Р  
У  
Ш  
Е  
Н  
И  
Я

# Чтобы заглянуть вперед, давайте сначала быстро оглянемся назад

- Что сформировало указанное мнение?
- Во время моего переезда в Германию в 2022 году.
  - Я размышлял о своем переезде из Остина (Техас) в Сидней (Австралия) в 2011 году.
- До 2011 года я работал над четырьмя темами и эта работа продолжается и сегодня.
- Кратко показаны **точные слайды 2011 года** и некоторые результаты.

Прошлое и настоящее клиенты/спонсоры, в том числе:

NVIDIA, Азиатский банк развития, Национальный научный фонд США, Исследовательский совет Австралии, Федеральная администрация автомобильных дорог США, DOT США, TfNSW, Mitsubishi Heavy Industries, Advisian, GoGet Carshare, а также многие другие правительственные учреждения, компании-разработчики программного обеспечения, инфраструктурные фирмы, консультационные фирмы, банки, страховые компании, стартапы и т. д.



# 1. Электромобили

Очень ранние исследования в области

Изучения будущего поведения путешественников в условиях возникающей реальности электромобилей

Работа требует сочетания тем, охватывающих **человеческое поведение, технологии и возникающие данные.**

Наша работа по этой теме началась в 2007 году.

Сотрудничество с доктором Младеном Кезунович (глобальный эксперт по энергосистемам, член NAE)

Созданный Центр NSF стал пионером в области электромобилей, и наша работа над этой темой продолжается до сих пор.

## Center for Transportation and Electricity Convergence

- Awarded August, 2010
  - UT-Austin lead with Texas A&M
    - Additional universities and agencies/companies planning to join
  - National Science Foundation Industry and University Cooperative Research Center (NSF IUCRC)
  - Renewable up to 15+ years, approx. \$7.5M+

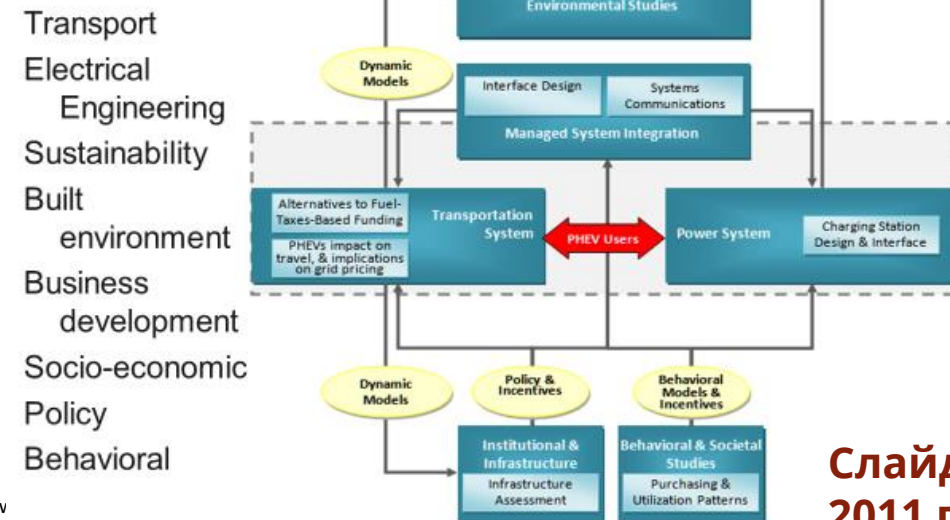
- Industry/agency members include:

Texas DOT	City of Austin
Innov8 Inc.	NRG Energy
CenterPoint Energy	City of Houston
Texas Transportation Institute	
North Central Texas Council of Governments	

2011  
Слайд

## Research Overview

- Multi-disciplinary



Слайд  
2011 г.

## 2. Экологическая справедливость (ЭС) среди

### защищенных групп

Мы предоставили первую количественную оценку ЭС для моделирования и планирования транспортных сетей в литературе (2008 г.)

С моей бывшей аспиранткой доктором Джен Дати (ныне руководителем отдела инноваций в Cintra, одном из крупнейших частных разработчиков транспортной инфраструктуры в мире)

Требуются **новые формы данных** и синтеза, включающие **социальные ценности**.

Исследование получило премию Фреда Бургграфа Совета по транспортным исследованиям США

TRB — подразделение Национальной академии наук, техники и медицины США.

Хотя работа носила математический характер, она также была очень практичной для использования.

Используется одной из крупнейших планирующих организаций в США.

Положено начало потоку мероприятий на сегодняшний день

## Environmental Justice, Emissions, Sustainability and Uncertainty

- Quantifiable engineering tools for properly accounting for
  - Environmental justice considerations
  - Optimizing network improvements for emission reduction
  - Sustainable planning accounting for uncertainty

### Sponsors

North Central Texas Council of Governments (Dallas MPO)  
 Southwestern University Transportation Center  
 National Science Foundation  
 FHWA

2011  
Слай

Definitions difficult. One EJ variation is: **Avoid disproportionality and maintain/improve access for protected groups**

## EJ-UE-DNDP

$$\min_{g \in \{0,1\}} Z(v^*(g), g) \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{l \in I} g_l = \theta \quad \leftarrow \text{total \# of improvements} \quad (2)$$

$$v^*(g) = \arg \min_v \sum_{l \in L} \int_{x=0}^{v_l} t_l(x) dx \quad (3)$$

$$s.t. v = Ah \quad (4)$$

$$d = Bh \quad (5)$$

$$v \geq 0 \quad (6)$$

$d = d^{P_1} + d^{P_2} + \dots + d^{P_n} + d^{MP}$   
 $g_l = \begin{cases} 1 & \text{if } l \text{ is improved} \\ 0 & \text{o.w.} \end{cases}$   
 $\gamma = \text{potential capacity increase}$

$$t_l(v_l, g_l) = t_l(0) \times \left( 1 + \alpha \left( \frac{v_l}{u_l + g_l \gamma} \right)^\beta \right), \quad \forall l \in I \quad (7)$$

$$t_l(v_l) = t_l(0) \times \left( 1 + \alpha \left( \frac{v_l}{u_l} \right)^\beta \right), \quad \forall l \in L \setminus I \quad (8)$$

2011  
Слай

# 3. Исследование распространения болезней в транспортных сетях

Мы начали изучать распространение болезней через транспортные сети очень рано (с 2005 г.)

Особенно с появлением новых технологий больших данных

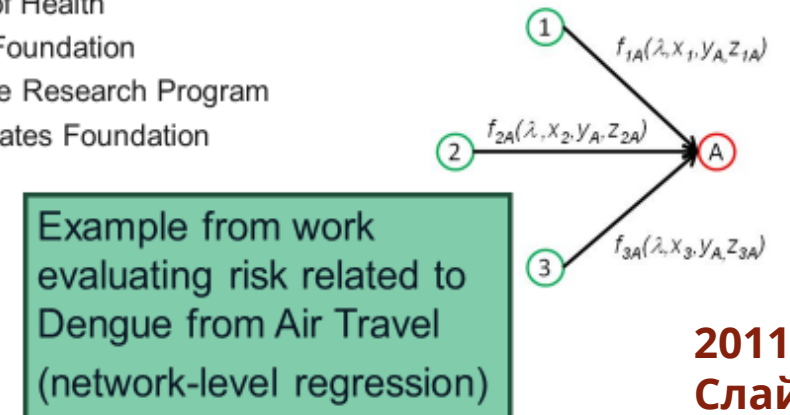
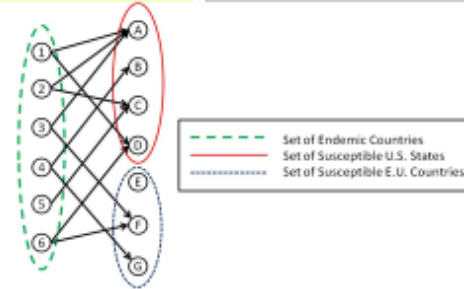
Тема докторской диссертации (2011 г.) д-ра Лорен Гарднер (моей бывшей аспирантки Калифорнийского университета в Остине и коллеги-наставника в rCITI, UNSW 2011-2019).

Д-р Гарднер, после переезда в Университет Джонса Хопкинса в 2019 году, создаст известную панель индикаторов по COVID19 (и была включена в список 100 самых влиятельных людей мира по версии TIME в 2020 году).

Начаты мероприятия по лучшему пониманию дисциплинарных последствий и взаимодействия мобильности.

## Epidemiology and Transport

- Collaborative with
  - Prof. Sahotra Sarkar (Integrative Biology)
  - Dr. Lauren Gardner
- Ecological, transport, water networks
- Current proposal efforts for
  - National Institute of Health
  - National Science Foundation
  - Airport Cooperative Research Program
  - Bill and Melinda Gates Foundation



2011  
Слайд  
Д



# 4. Автоматизированные/автономные транспортные средства

Начав с работы в 2006 году, совместно осуществлен первый в мире крупный проект (более 1,8 млн долларов США) по изучению

Как АТС будут функционировать в транспортной системе

Вычислительно сложный, с изменениями в поведении при поездках (**машинное обучение, ранняя работа ИИ**)

Этот проект был совместной работой с профессором компьютерных наук Питером Стоуном

Соучредитель Cogitai , Inc., а ныне исполнительный директор Sony AI America

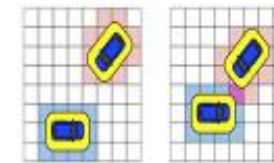
Начал длинную серию мероприятий, охватывающую множество исследований и проектов, в том числе для государственных учреждений, консалтинговых компаний, банков, страховых фирм и т. д.

## Automated / Autonomous Vehicles

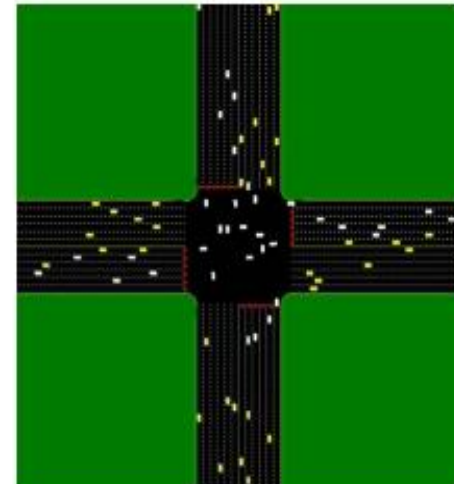
- US FHWA Project: FHWA-PROJ-07-0026
- Intersection control for AVs
- 2007 – 2013
- Approx. \$2M research budget
  
- One of the first functional system evaluations for autonomous vehicles



Image: MARVIN, automated vehicle at the University of Texas at Austin, developed by co-researchers.



V2V and/or V2I reservation system



2011 Слайд

# Настоящее и будущее: эволюция и прогресс

Из этих новых тем (все начаты до 2010 года):

- 1. Электромобили (ведущие к более широкой электрической мобильности)
- 2. Экологическая справедливость (ЭС), включая воздействие на защищенные группы
- 3. Пандемии в транспортных сетях
- 4. Автоматизированные/автономные транспортные средства (АТС)

<b>Emergence of Big Data / Pervasive Data</b> Alternatives to traditional sources Potential for exponential acceleration, also challenges (format, substance)
<b>Advanced Statistical and Machine Learning AI Tools</b> Potential to automated traditionally labour-intensive tasks New skillsets and specialists required but need to understand planning
<b>Increased Need for Openness, Equity and Sustainability</b> Drives new quantification and broader metrics (EJ, Equity, Resilience) We must free up our time to expand what we can do (eliminate repetitive)

D  
I  
S  
R  
U  
P  
T  
I  
O  
N

**Для сегодняшних тем нам необходимо использовать извлеченные уроки, включая новые методологии**

**Возникающие новые большие данные**

**Машинное обучение (прикладной ИИ)**

**Одновременно включая поведение туристической сети**

**И все это при одновременном расширении возможностей количественной оценки социальных ценностей.**



# Влияние на транспортное планирование

Охвачено в предыдущем разговоре

Короче говоря, возможности включают

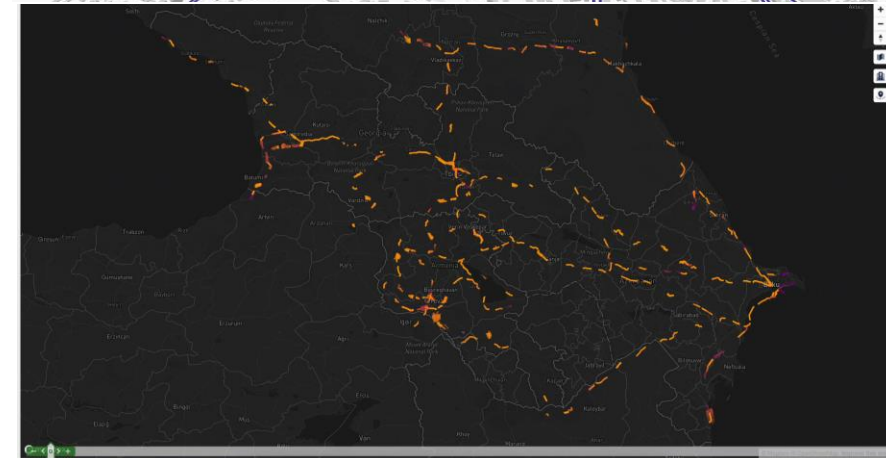
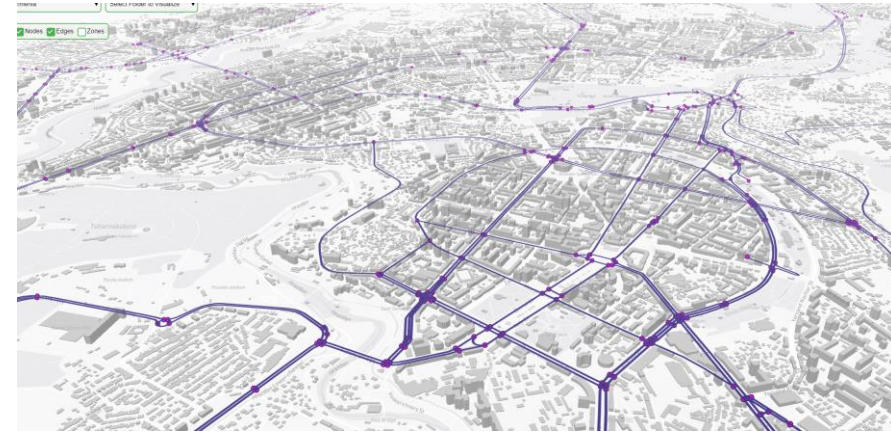
Значительно сократить время и затраты

Стандартизировать в разных регионах

Усилить прозрачность и вовлеченность

Включить новые показатели

- Равенство
- Устойчивое развитие
- Воздействие на окружающую среду/справедливость
- Устойчивость
- И т. д.



## Важное примечание:

**Делая все это, мы не должны терять способность правильно моделировать сценарии «что, если».**

**Если мы потеряем это, мы потеряем цель в процессе планирования.**

**Планировать – это не просто анализировать. Это не просто аналитика данных.**

Мы хотели бы выразить  
благодарность за  
сотрудничество с

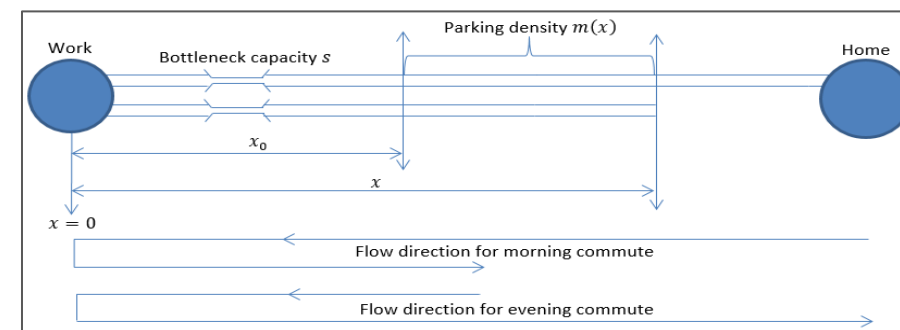


# Безопасность и технологии

- Технологии изменяют поведение путешествий
  - Критические последствия для планирования
- Нам необходимо понимать влияние новых технологий на безопасность, чтобы **лучше планировать**
  - АТС, е-мобильность, микро-мобильность
- А также, использование новых инструментов для **оценки безопасности в режиме реального времени**



Н. Вирди; Х. Гржибовска; С. Т. Уоллер; В. Диксит (2019) «Оценка безопасности смешанных автопарков с подключенными и автономными транспортными средствами с использованием суррогатного модуля оценки безопасности», *Accident Analysis and Prevention*, Vol 131, стр. 95-111. Э Цю; Н Вирди; Х Гжибовска; С. Т. Уоллер (2022 г.) «Рекалибровка функции BPR для стратегического моделирования подключенных и автономных транспортных средств», *Transportmetrica B: динамика транспорта* 10 (1), стр. 779-800. Х Чжан; Э. Робсон; С. Т. Уоллер (2020) «Интегрированная модель транспорта и экономического равновесия для автономных транспортных систем с учетом поведения при парковке» *Компьютерное проектирование гражданского и инфраструктурного строительства*, том 36 (7), стр. 902-921.



# Моделирование выбросов углекислого газа и выбросов автомобильного транспорта (текущая работа)

Благодаря новым данным и методам можно легче рассчитывать показатели

Пример: Углерод от дорожных транспортных средств

3 изученных метода включают:

Метод №1:

Используя подобранные полиномиальное уравнение четвертого порядка (уравнение Барта).

Где  $y$  — выбросы CO<sub>2</sub> в г/милю, а  $x$  — средняя скорость поездки в милях в час.

Барт М. и Борибунсомсин К. (2008). Реальное влияние углекислого газа на пробки на дорогах. Отчет о транспортных исследованиях, 2058 (1), 163–171.

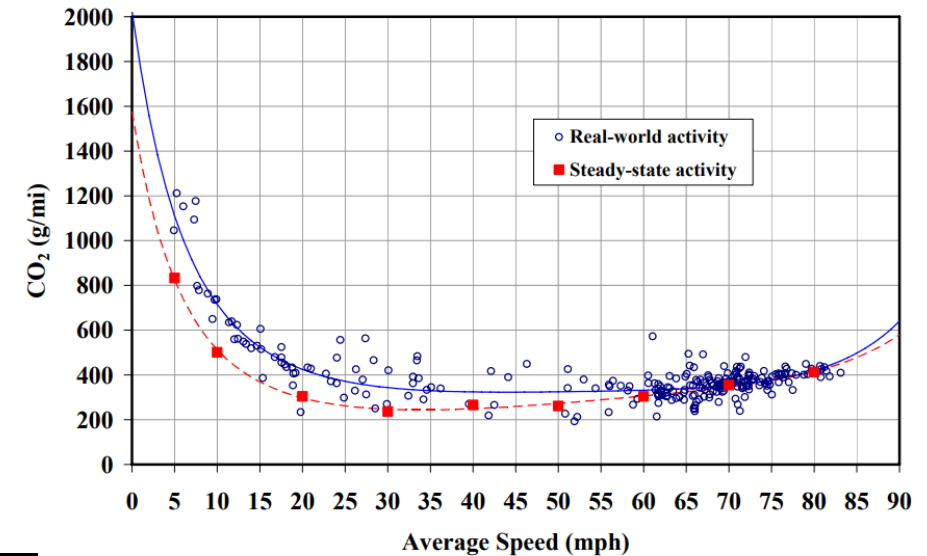


Table 1. Derived line-fit parameters for Eqn. (1).

$$\ln(y) = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 + b_3 \cdot x^3 + b_4 \cdot x^4$$

	Real-World
N	241
R <sup>2</sup>	0.668
b <sub>0</sub>	7.613534994965560
b <sub>1</sub>	-0.138565467462594
b <sub>2</sub>	0.003915102063854
b <sub>3</sub>	-0.000049451361017
b <sub>4</sub>	0.000000238630156

Сравнение с отчетом Международного энергетического агентства (МЭА) по выбросам CO<sub>2</sub>.

Лондон:

МЭА: выбросы автомобильного транспорта в Великобритании составляют 114 млн тонн в год  
312 тыс. тонн в день по стране

Использование общего коэффициента часов пик, равного 10 (т. е. два 3-часовых периода пиковой нагрузки и 4 периода внепиковой нагрузки)

**31 тыс.** тонн в час пик по всей стране

Автоматизированная модель города Лондона сообщает о **2,9 тыс.** тонн для конкретного случая с 8 до 9 утра

Примерно 9,3% выбросов углекислого газа на дорогах Великобритании в час пик

Окленд:

МЭА: выбросы автотранспорта Новой Зеландии составляют 14,3 млн тонн в год

**3,9 тыс.** тонн в час пик

Автоматизированная модель города Окленд сообщает о **778** тоннах для конкретного случая в 8–9 утра

Примерно 19,85% выбросы от автодорожного транспорта Новой Зеландии в час пик

# Методы 2 и 3 для оценки выбросов углекислого газа от дорожного движения

**Метод 2:** аналогичен подходу Барта, но указаны соотношения объема и пропускной способности.

Цанакас Н., Экстрём Дж. и Олстам Дж. (2017). Сокращение ошибок при оценке выбросов на основе результатов статической модели дорожного движения. Протокол транспортных исследований, 22, 440-449.

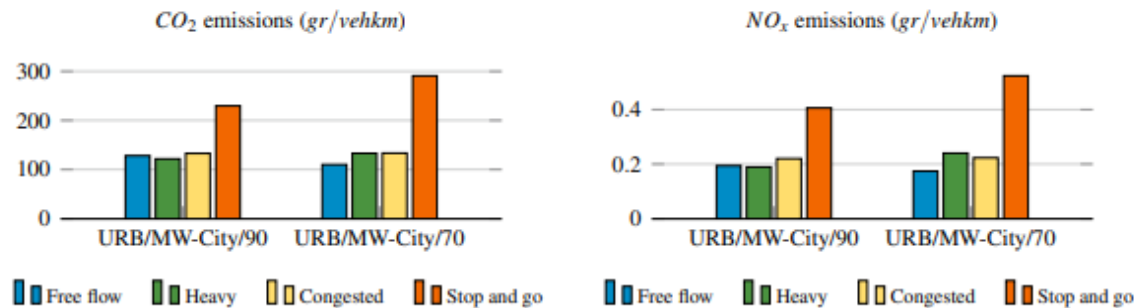


Figure 1. HBEFA emission factors; (a) CO<sub>2</sub> (b) NO<sub>x</sub>.

Table 1. Volume/Capacity ratio thresholds.

Speed limit (km/h)	Free flow	Heavy	Congested	Stop and go
90	V/C < 0.65	0.65 ≤ V/C < 0.85	0.85 ≤ V/C < 1.35	V/C ≥ 1.35
70	V/C < 0.39	0.39 ≤ V/C < 0.84	0.84 ≤ V/C < 1.35	V/C ≥ 1.35
<50	V/C < 0.52	0.65 ≤ V/C < 0.78	0.65 ≤ V/C < 1.22	V/C ≥ 1.22

**Метод 3:** использует функцию MOVES (Агентство по охране окружающей среды США, 2014 г.) для моделирования энергопотребления наряду с BPR для моделирования функции эффективности связи:

BPR function:

$$t_{ij} = t_{ij}^0 \cdot \left( 1 + \alpha \left( \frac{x_{ij}}{c_{ij}} \right)^\beta \right) \quad \forall (i, j) \in A \quad (1)$$

MOVES function:

$$\begin{cases} LTEC_{ij} = TEC_{ij} \cdot L_{ij} \\ TEC_{ij} = 9.9 \cdot S_{ij}^{-0.56} \end{cases} \quad \forall (i, j) \in A \quad (2)$$

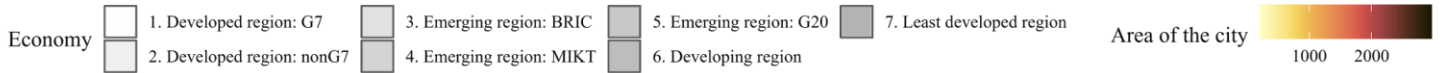
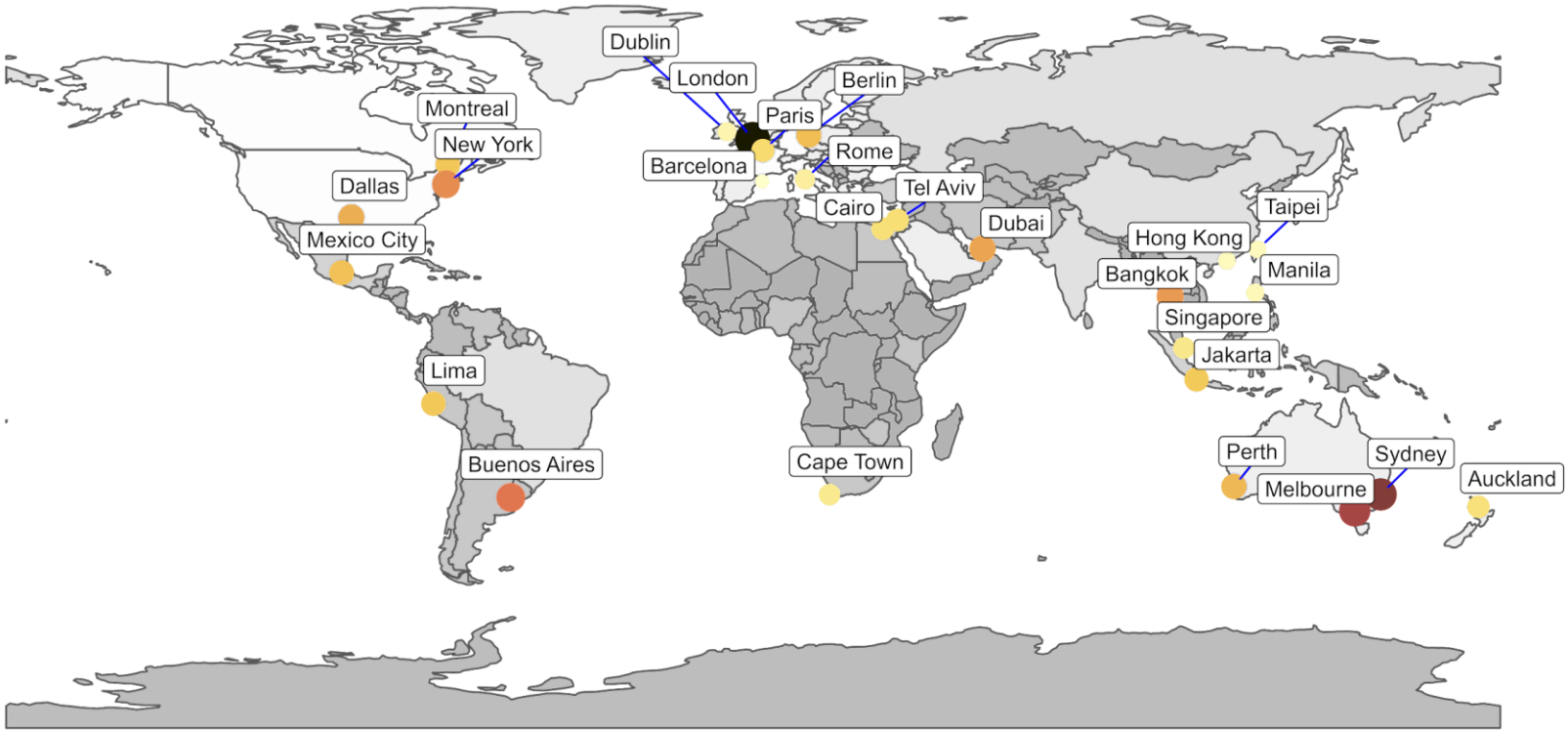
where  $TEC_{ij}$  is the transport energy consumption rate per vehicle kilometre travelled on link  $(i, j)$ , which is measured in kWh/km if the dimension of speed  $S_{ij}$  is km/h. By substituting the BPR function into Formula (2), the  $TEC_{ij}$  function becomes:

В этом исследовании мы использовали этот подход:

Чжан Х. и Уоллер С.Т. (2019). Влияние целей равенства на основе связи на проблему проектирования транспортной сети. Транспорт, 46(5), 1559-158

# Рассмотренные города мира

City	Region	<sup>1</sup> Economic Representation	<sup>2</sup> Area of city [km <sup>2</sup> ]
Auckland	Oceania	Developed : Non G7	645
Bangkok	Asia	Emerging : G20	1267
Barcelona	Europe	Developed : G7	201
Berlin	Europe	Developed : G7	954
Buenos Aires	South America	Emerging : G20	1571
Cairo	Africa	Emerging : G20	657
Cape Town	Africa	Emerging : G20	540
Dallas	North America	Developed : G7	1091
Dubai	Middle East	Developing	1159
Dublin	Europe	Developed : G7	360
Hong Kong *	Asia	Emerging : BRIC	281
Jakarta	South East Asia	Emerging : MIKT	860
Lima	South America	Emerging : G20	880
London	Europe	Developed : G7	2961
Manila	South East Asia	Emerging : G20	313
Melbourne	Australia	Developed : Non G7	2103
Mexico City	South America	Emerging : MIKT	931
Montreal	North America	Developed : G7	890
New York	North America	Developed : G7	1388
Paris	Europe	Developed : G7	717
Perth	Australia	Developed : Non G7	1008
Rome	Europe	Developed : G7	452
Singapore *	Asia	Developing	556
Sydney	Europe	Developed : Non G7	2305
Taipei	Asia	Developed : Non G7	273
Tel Aviv	Middle East	Developed : Non G7	681

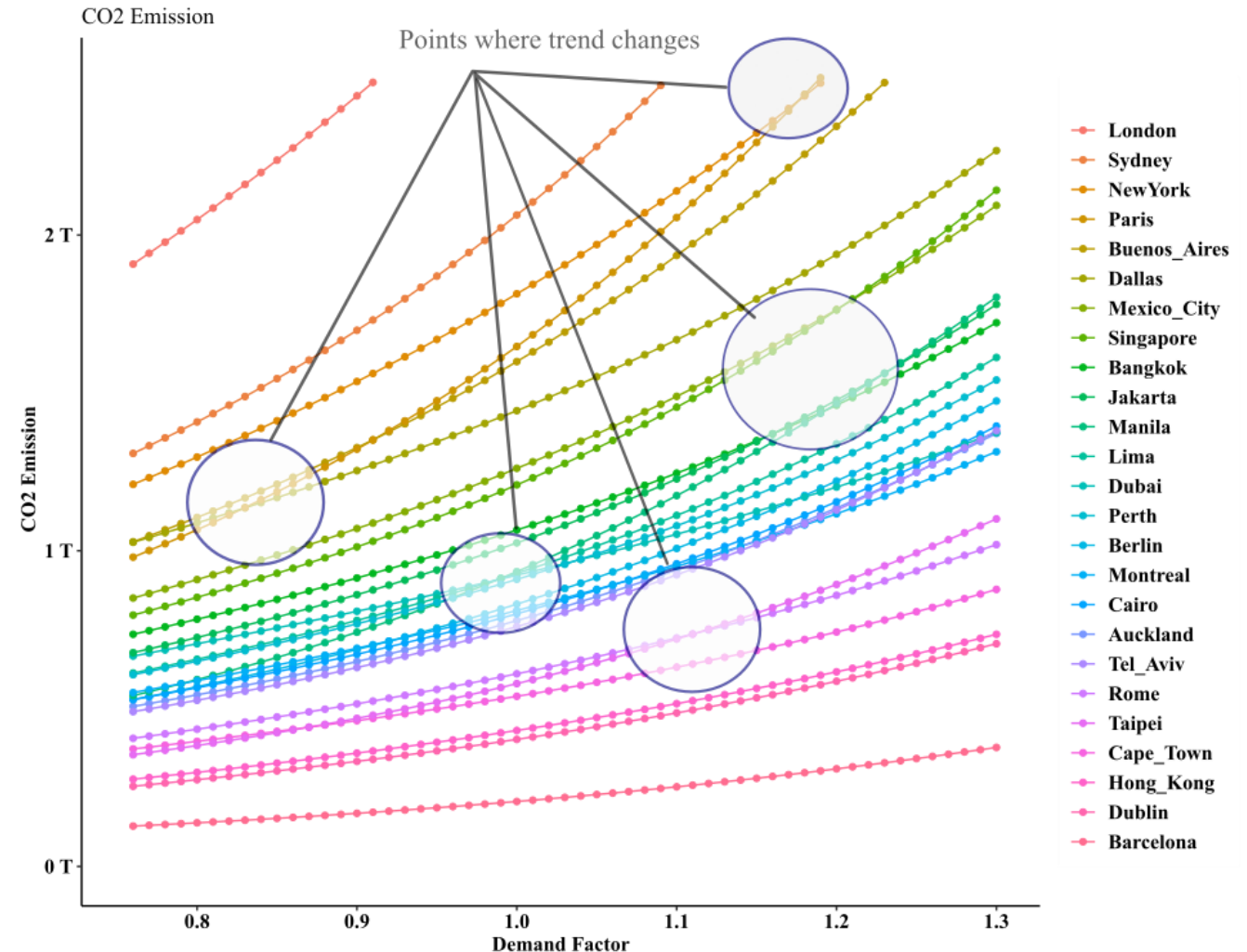


<sup>1</sup> Data Source: World Bank [4]  
<sup>2</sup> Area of the city considered in the study through GIS mapping  
 \* Considered as developed economies based on the high GDP

Data source: World Bank

# Количественная оценка градиента выбросов углекислого газа от дорожного движения (углеродная чувствительность)

- Этот подход включает равновесие (спрос на поездки) - (предложение сети)
- Это облегчает рассмотрение многочисленных сценариев спроса
- В результате градиент выбросов углекислого газа от дорожного движения можно определить количественно
  - Это позволяет использовать разные призмы для сравнения городов





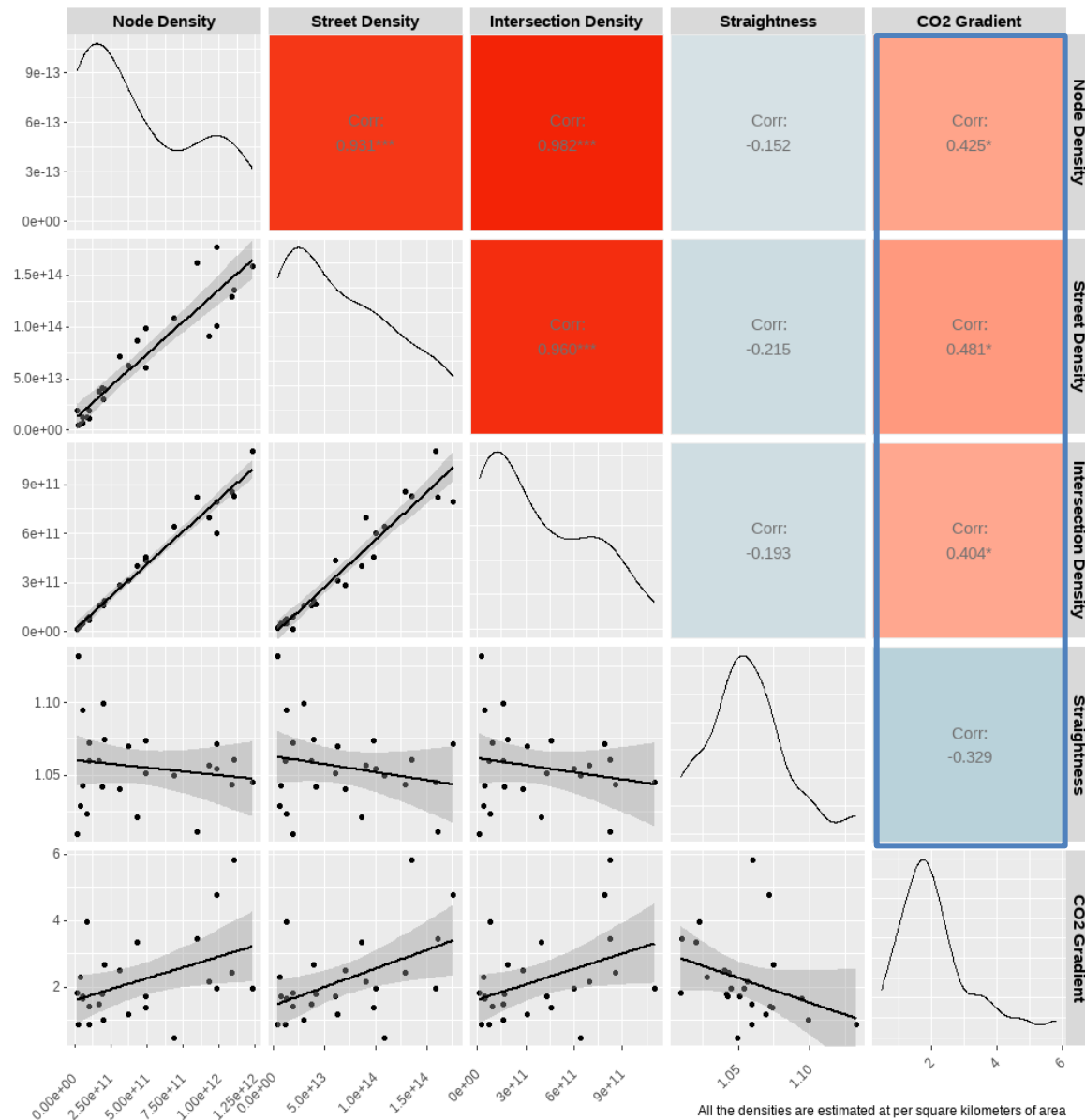
# Влияют ли параметры сети на градиент выбросов?

Было исследовано более 25 различных параметров сетей.

Определение размера, формы, пропускной способности и ориентации дорожных сетей в городах мира

**Предварительный анализ:** обнаружено, что 4 имеют значительную связь с градиентом выбросов

- (i) Плотность улиц (на км)
- (ii) Плотность узлов (на км)
- (iii) Плотность перекрестков (на км)
- (iv) Прямолинейность/закругленность



# Дати и Уоллер (2008 г.) о показателях экологической справедливости

Аналогичным образом можно рассчитать новые показатели равенства и экологической справедливости.

Мандат: Отреагировать на указ президента США об использовании экологической справедливости при планировании инфраструктуры.

Агентству нужен был количественный метод включения новой для них концепции.

Ранний пример цифровизации наших возникающих ценностей в формализованном процессе планирования.

Доклад получил премию TRB Фреда Бургграфа.

$$\min_{g \in [0,1]} Z(v^*(g), g) \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{l \in L \setminus I} g_l = \theta \quad (2)$$

$$v^*(g) = \arg \min_v \sum_{l \in L} \int_{x=0}^{v_l} t_l(x) dx \quad (3)$$

subject to

$$v = Ah \quad (4)$$

$$d = Bh \quad (5)$$

$$v \geq 0 \quad (6)$$

$$t_l(v_l, g_l) = t_l(0) \times \left( 1 + \alpha \left( \frac{v_l}{u_l + g_l \gamma} \right)^\beta \right) \quad \forall l \in I \quad (7)$$

$$t_l(v_l) = t_l(0) \times \left( 1 + \alpha \left( \frac{v_l}{u_l} \right)^\beta \right) \quad \forall l \in L \setminus I \quad (8)$$

$$Z_1 = \frac{\sum_j s_{ij}^f d_{ij} p_{ij} / e_{ij}^f}{\sum_j d_{ij} p_{ij}}; \quad Z_2 = \frac{\sum_j s_{ij}^f d_{ij} / e_{ij}^f}{\sum_j d_{ij}}$$

$$Z_3 = \left( \frac{\sum_j s_{ij}^f d_{ij} p_{ij} / e_{ij}^f}{\sum_j d_{ij} p_{ij}} - \frac{\sum_j s_{ij}^f d_{ij} (1-p_{ij}) / e_{ij}^f}{\sum_j d_{ij} (1-p_{ij})} \right)^2;$$

$$Z_4 = \left( \frac{\sum_j (s_{ij}^f d_{ij} p_{ij} / e_{ij}^f - s_{ij}^0 d_{ij} p_{ij} / e_{ij}^0)^2}{\sum_j d_{ij} p_{ij}} - \frac{\sum_j (s_{ij}^f d_{ij} (1-p_{ij}) / e_{ij}^f - s_{ij}^0 d_{ij} (1-p_{ij}) / e_{ij}^0)^2}{\sum_j d_{ij} (1-p_{ij})} \right)^2;$$

$$Z_5 = \frac{\sum_j s_{ij}^f d_{ij} p_{ij}}{\sum_j d_{ij} p_{ij}}; \quad Z_6 = \frac{\sum_j s_{ij}^f d_{ij}}{\sum_j d_{ij}}$$

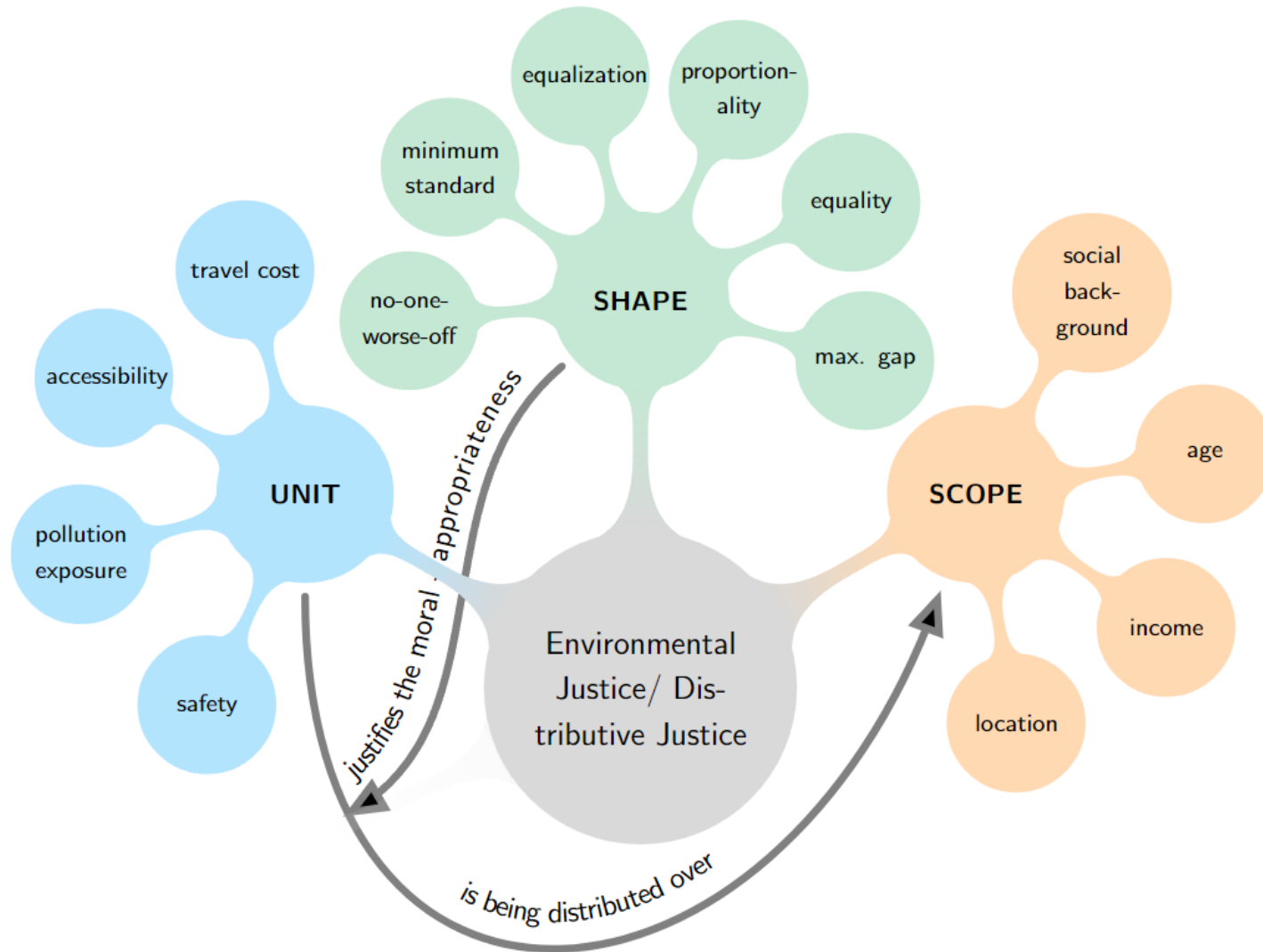
$$Z_7 = \left( \frac{\sum_j s_{ij}^f d_{ij} p_{ij}}{\sum_j d_{ij} p_{ij}} - \frac{\sum_j s_{ij}^f d_{ij} (1-p_{ij})}{\sum_j d_{ij} (1-p_{ij})} \right)^2;$$

$$Z_8 = \left( \frac{\sum_j (s_{ij}^f d_{ij} p_{ij} - s_{ij}^0 d_{ij} p_{ij})^2}{\sum_j d_{ij} p_{ij}} - \frac{\sum_j (s_{ij}^f d_{ij} (1-p_{ij}) - s_{ij}^0 d_{ij} (1-p_{ij}))^2}{\sum_j d_{ij} (1-p_{ij})} \right)^2$$

TABLE 2 Range of Fitness and Number of Generations to Convergence

Objective Function	$Z^{\min}$	$Z^{\max}$	$n_{\text{converge}}$
$Z_1$	1.98	2.31	7
$Z_2$	1.99	2.23	6
$Z_3$	$4.00 \times 10^{-5}$	$8.52 \times 10^{-4}$	17
$Z_4$	0.44	206.08	29
$Z_5$	3.91	4.45	5
$Z_6$	3.98	4.51	5
$Z_7$	$5.27 \times 10^{-3}$	$8.90 \times 10^{-3}$	16
$Z_8$	8.06	2,480.51	12

# Наша текущая работа в Германии, Австралии и Гонконге



Адоптированная концепция Jafino (2021 г.) для количественной оценки моделей.

Разработка методов для включения различных мер обеспечения равенства и справедливости в инструменты автоматизированного транспортного моделирования.

Equity Measurement	Formulation
Rawl's Egalitarian (RE)	$RE = \max \sum_{i=1}^k Y_i$
Utilitarianism (U)	$U = \max \sum_{i=1}^n Y_i$
Gini index (GINI)	$GINI = \frac{1}{2n^2 \bar{Y}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n  Y_i - Y_j $
Theil index (THEIL)	$THEIL = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Y_i}{\bar{Y}} \log \log \frac{Y_i}{\bar{Y}} \right)$
Atkinson index (ATK)	$ATK = \begin{cases} 1 - \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Y_i}{\bar{Y}} \right)^{1-\epsilon} \right]^{\frac{1}{1-\epsilon}}, \epsilon \neq 1 \\ 1 - \frac{1}{\bar{Y}} \left( \prod_{i=1}^n Y_i \right)^{\frac{1}{n}}, \epsilon = 1 \end{cases}$
Sadr's theory of Justice (SADR)	$SADR = \begin{cases} \max \sum_{i=1}^n Y_i; \\ s.t. Y_i > m1 \times Y_j, \forall i, j \\ \sum_{i,j} \frac{Y_i - Y_j}{2n^2 \bar{Y}} < m2 \end{cases}$
Relative mean deviation (RMED)	$RMED = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left  \frac{Y_i}{\bar{Y}} - 1 \right $
Mean log deviation (LDEV)	$LDEV = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left  \log \log Y_i - \log \log \bar{Y} \right $

# Планирование, справедливость и устойчивость

- Количественных показателей недостаточно
- Мы должны планировать, в том числе для обеспечения устойчивости
- Планирование устойчивости абсолютно требует гипотетического анализа
  - Все дело в потенциальной будущей фазе нарушений
- В конечном счете, это требует синтеза
  - Новых данных
  - Новых методов
  - Традиционных принципов транспортного планирования

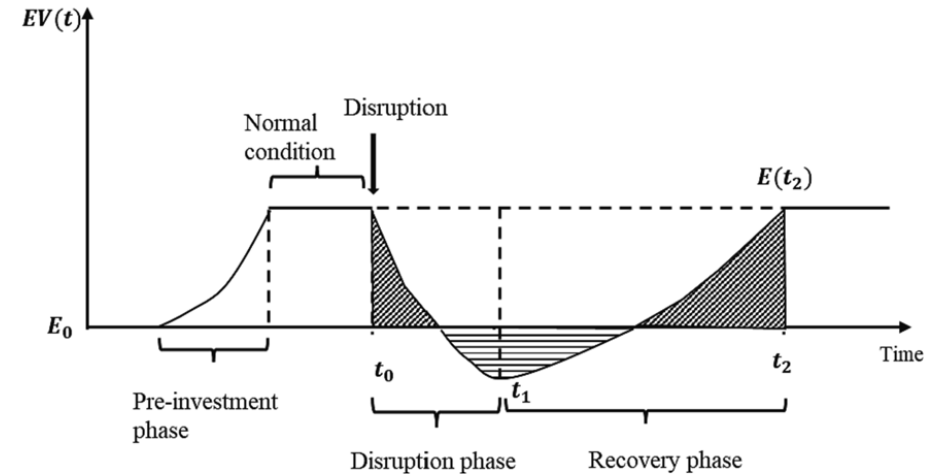
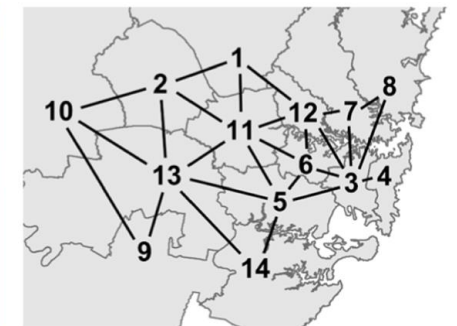
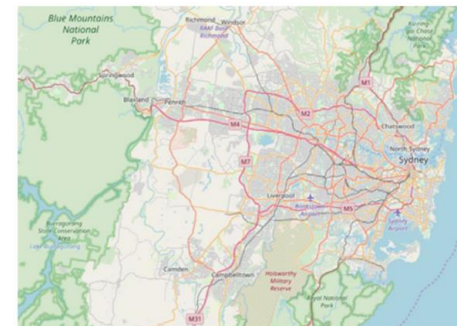


Fig. 1. Economic-based Network Resilience Measurement with a pre-investment project.

Т. Чжан, К. Нью, Д. Наир, В. Диксит и С. Т. Уоллер (2023) «Анализ капитала и оптимизация устойчивости транспорта на этапе до события» Транспортные исследования, часть D: Транспорт и окружающая среда, том 122, стр. 1-24.



# Резюме

Новые большие данные и машинное обучение/  
прикладной ИИ имеют огромный потенциал

Значительные изменения уже достигнуты

Многие еще предстоит достичь

Но мы должны соответствующим образом  
интегрировать эти новые инструменты в принципы  
нашей профессиональной деятельности

Хотя у нас есть процесс

Использовать возникающие инструменты для  
количественной оценки, измерения и определения  
показателей

Изменять инструменты планирования, чтобы использовать  
эти новые показатели

Автоматизировать как можно больше повторяющихся  
шагов

