

Структура транспортного спроса и методика моделирования транспортных потоков в крупном городе

А. С. Алиев¹, Д. С. Мазурин¹, В. И. Швецов¹,
А. А. Федотов²

¹Институт системного анализа ФИЦ ИУ РАН

²Фонд логико-философских исследований

Отчетная транспортная конференция за 2015 год
26 декабря 2015 года

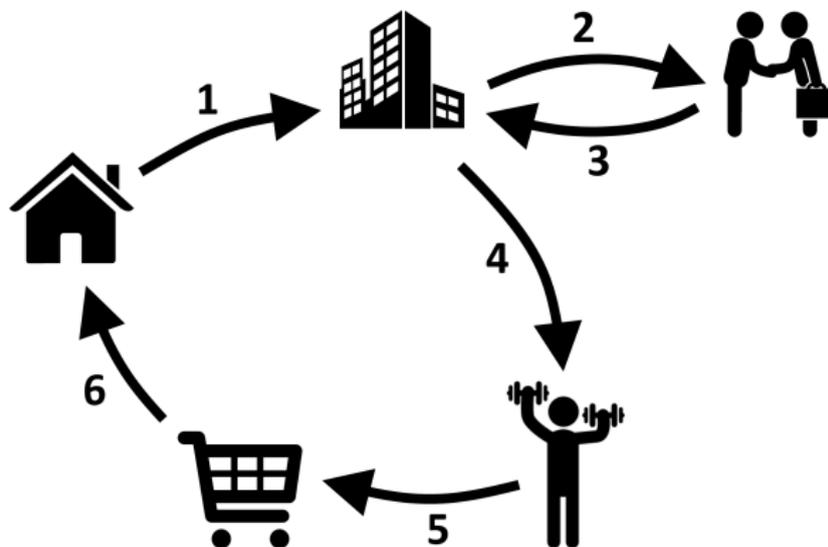
План

- 1 **Пассажирская модель**
 - Цепочки передвижений
 - Оценка объемов прибытия и отправления
 - Расщепление по способам передвижения
- 2 **Грузовая модель**
 - Структура грузовых передвижений
 - Матрицы грузовых передвижений
- 3 **Общая структура модели**
 - Обобщенная цена и система общественного транспорта
 - Распределение потоков по сети
 - Программная реализация

Цепочки передвижений

Цепочка передвижений —

последовательность передвижений, начинающаяся и заканчивающаяся в одном месте (обычно дома).



Цепочки передвижений

Виды цепочек в модели:

- простые цепочки: *Дом* → *Объект* → *Дом*
- сложные цепочки: *Дом* → *Объект 1* → *Объект 2* → *Дом*.

Замечание

Сложные цепочки вида *Дом* → *Объект 1* → *Объект 2* → *Объект 1* → *Дом* можно представить в виде двух простых цепочек *Дом* → *Объект 1* → *Дом* и *Объект 1* → *Объект 2* → *Объект 1*.

Звенья цепочек дают вклад в соответствующие слои передвижений:

Цепочка	Кол-во на 1000 чел.
Дом → Работа → Дом	
Дом → Работа → Работа → Дом	
Дом → Работа → ДКБ → Дом	
Дом → Работа → Досуг → Дом	
Работа → Работа → Работа	
Дом → Учеба → Дом	
Дом → ДКБ → Дом	
Дом → Медицина → Дом	
...	



	Дом	Работа	Учеба	БКБ	ДКБ	Мед	Досуг	Вокзал
Дом								
Работа								
Учеба								
БКБ								
ДКБ								
Мед								
Досуг								
Вокзал								

Элементы спроса

Элемент спроса —

совокупность цепочек передвижений с определенными целями, совершаемых в определенные периоды времени.

Пример

Дом $\xrightarrow{\text{Утро}}$ Работа $\xrightarrow{\text{Вечер}}$ Дом

Деление суток на периоды времени:

- Раннее утро (6:00 – 8:00)
- Утро (8:00 – 10:00)
- День (10:00 – 17:00)
- Вечер (17:00 – 19:00)
- Поздний вечер (19:00 – 22:00)
- Ночь (22:00 – 06:00)

Оценка общих объемов прибытия и отправления

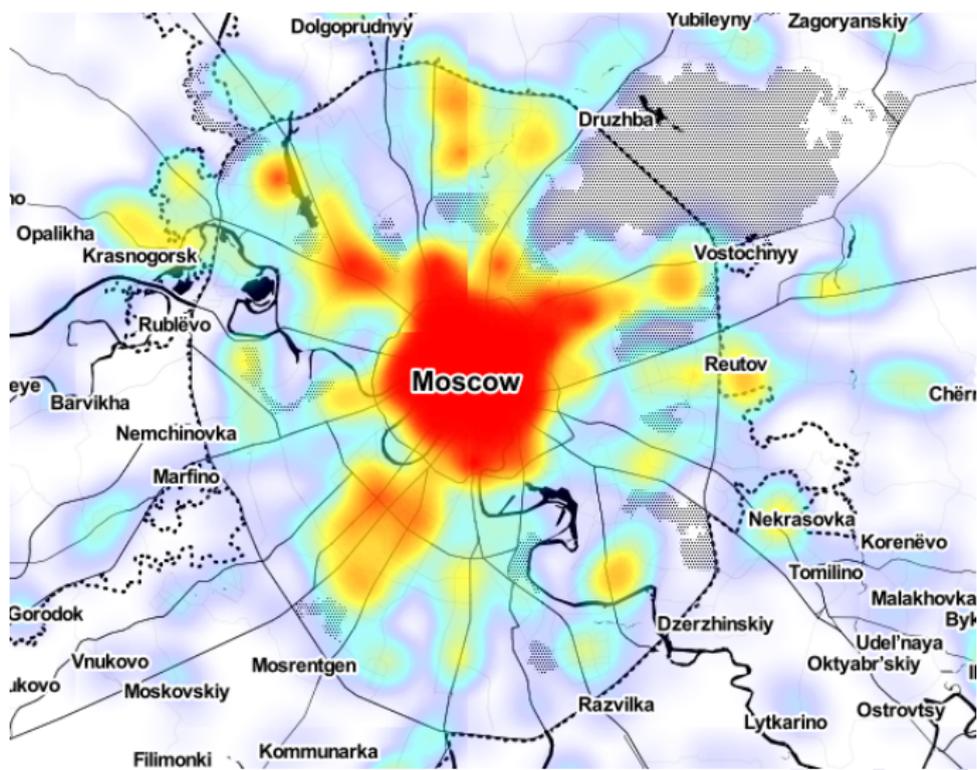
Относительные емкости:

- данные Росстата
- данные OpenStreetMap
- порталы открытых данных Москвы (data.mos.ru) и России (data.gov.ru)
- прочие источники

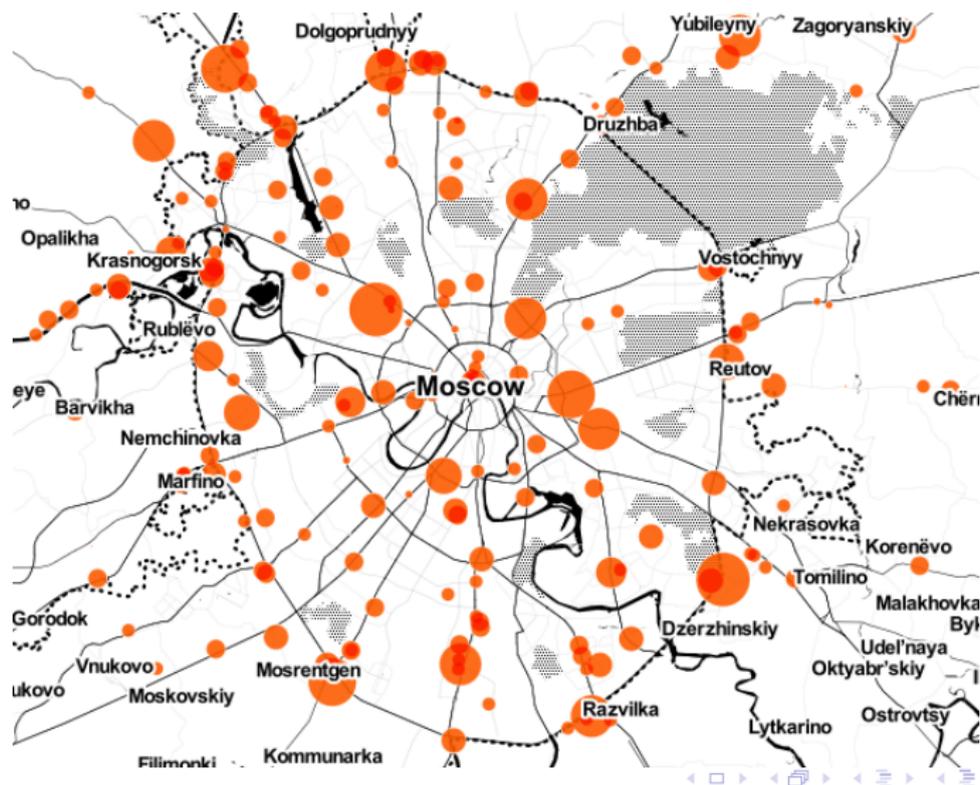
Абсолютные емкости:

- исследования подвижности за рубежом
- собственные опросы

Пример 1. Плотность объектов досуга



Пример 2. Емкость крупных объектов торговли (ТЦ, рынки, гипермаркеты)



Расщепление по способам передвижения

Основные принципы:

- в ходе совершения цепочки передвижений способ передвижения остается неизменным
- учитывается загрузка сети на всех звеньях цепочки передвижений

Для простых цепочек:

$(c_{t_1 t_2}^k)_{ij}$ — обобщенные затраты на совершение цепочки передвижений (Район $i \xrightarrow{t_1}$ Район $j \xrightarrow{t_2}$ Район i) для способа передвижения k , приведенные на одну поездку:

$$(c_{t_1 t_2}^k)_{ij} = \frac{(c_{t_1}^k)_{ij} + (c_{t_2}^k)_{ji}}{2},$$

$(c_t^k)_{ij}$ — обобщенные затраты на передвижение из i в j в период времени t для способа передвижения k .

Расщепление по способам передвижения

Доля каждого из способов передвижения:

$$s_{t_1 t_2}^k = \gamma s_{t_1 t_2}^{k(\text{авт.})} + (1 - \gamma) s_{t_1 t_2}^{k(\text{неавт.})}, k \in \{\text{car; pub; ped}\}$$

γ — доля поездок, в которых у человека есть потенциальная возможность использовать автомобиль.

Для «автомобилизированного» населения:

$$s_{t_1 t_2}^{k(\text{авт.})} = \frac{e^{U_{t_1 t_2}^k}}{\sum_k e^{U_{t_1 t_2}^k}}, k \in \{\text{car; pub; ped}\}.$$

Для «неавтомобилизированного» населения:

$$s_{t_1 t_2}^{k(\text{неавт.})} = \frac{e^{U_{t_1 t_2}^k}}{\sum_k e^{U_{t_1 t_2}^k}}, k \in \{\text{pub; ped}\}.$$

Структура грузовых передвижений

Основные объекты притяжения:

- Стоянка (места стоянок грузового автомобильного транспорта)
- Склад (объекты оптовой торговли – складские площади для хранения продовольственных и непродовольственных товаров, включая логистические центры)
- Предприятие
- ТПЗ – транспортно-производственная зона – (склады и предприятия, компактно расположенные на одной площадке/территории с общими подъездными путями)
- Таможня (складские объекты под таможенным контролем – склады временного хранения и таможенные склады)
- Магазин (мелкие объекты розничной торговли)
- ТЦ – торговый центр – (крупные объекты розничной торговли)

Типичные цепочки грузовых передвижений

кордоны	-	-	кордоны
кордоны	-	магазины	кордоны
кордоны	-	тц	кордоны
кордоны	-	склады	кордоны
кордоны	таможни	ТЦ	кордоны
кордоны	таможни	склады	кордоны
кордоны	таможни	предприятия	кордоны
стоянки	склады	кордоны	стоянки
стоянки	склады	магазины	стоянки
стоянки	склады	ТЦ	стоянки
стоянки	склады	склады	стоянки
стоянки	предприятия	склады	стоянки
стоянки	предприятия	ТЦ	стоянки
стоянки	ТПЗ	предприятия	стоянки
стоянки	ТПЗ	ТЦ	стоянки
стоянки	ТПЗ	склады	стоянки

Характеристики грузовых цепочек

Индивидуально для каждого типа цепочек задаются:

- Оценка количества цепочек поездок, совершаемых в течение суток
- Распределение цепочек по типам ТС
- Кратность внутренних звеньев цепочек
- Распределение по времени суток

Пример распределения по времени суток:

	ранее утро	утро	день	вечер	поздний вечер	ночь	
Слой	06-08	08-10	10-17	17-19	19-22	22-06	Итого
Стоянка - Таможня	0,3	0,3	0,2	0,2	0	0	1
Таможня - Предприятие	0,3	0,3	0,2	0,2	0	0	1
Предприятие - Стоянка	0	0,3	0,3	0,2	0,2	0	1

Слои грузовых передвижений

Агрегирование на этапе вычисления суточных и часовых матриц для каждого слоя:

Исходные слои								
Итого	Кордоны	Стоянки	Склады	Предпр.	Станции	Таможни	ТЦ	Магазины
Кордоны	14978	14978	3745			7489	14978	18723
Стоянки			134978	80000				
Склады	22467	60000	60000	48000			162000	54000
Предприятия	1498		96000				32000	
ТПЗ								
Таможни			3745	1498			2247	
ТЦ	17225	86000	108000					
Магазины	18723	54000						145445
Агрегированные слои								
Итого	Кордоны	Стоянки	Склады	Предпр.	Станции	Таможни	ТЦ	Магазины
Кордоны	14978	14978	3745			7489	14978	18723
Стоянки			134978	80000				
Объект 1	23965	60000	159745	49498			196247	54000
Объект 2	35947	140000	108000					145445

Обобщенная цена передвижений

Для индивидуального транспорта:

- время подготовки к движению (дуга-связь из района)
- время движения (дуги УДС и повороты)
- стоимость пробега (дуги УДС)
- стоимость проезда по платным участкам (дуги УДС)
- стоимость парковки в отдельных районах города (дуга-связь в район)

Для общественного транспорта:

- время ожидания и посадки (дуги-посадка)
- время движения (дуги УДС/внеуличные дуги)
- стоимость проезда с фиксированной оплатой (дуги-посадки и пересадки на метро)
- стоимость проезда с оплатой по расстоянию (дуги УДС/внеуличные дуги)

Система общественного транспорта

- Движение согласно оптимальной стратегии: время ожидания формируется по средним интервалам движения на маршрутах.
- Пригородные электропоезда и автобусы не описываются в терминах маршрутов.

Формирование системы псевдо-маршрутов

Псевдо-маршруты создаются программно на основе расписания, доступного по сети.

- Псевдо-маршрут описывает группу близких маршрутов.
- Скорость движения и стоимость проезда усредняется отдельно по перегонам.
- Вводится параметр «частота остановки» и добавляется штрафное время на дугах-посадках.

Система маршрутов Москвы и Московской области

Каталоги маршрутов

N	Название	З...	Ма...
1	Автобус	A	1233
2	Троллейбус	Tb	192
3	Трамвай	Tm	90
4	Скоростной трамвай	TS	0
5	Маршрутка	Ma	1380
6	Маршрутки Мосгортранс	Mg	62
10	Автобус (дальн)	AS	293
11	Автобус (область)	AR	1395
51	Метро	M	30
55	Аэроэкспресс	RA	6
56	Городские электропоезда	RM	2
57	Экспрессы РЖД	RZ	9
58	РЭК	RX	22
59	Ускоренные	RS	22
60	Обычные электрички	R	254

Распределение потоков по сети

Автомобильные потоки

Модель равновесия с несколькими классами пользователей:

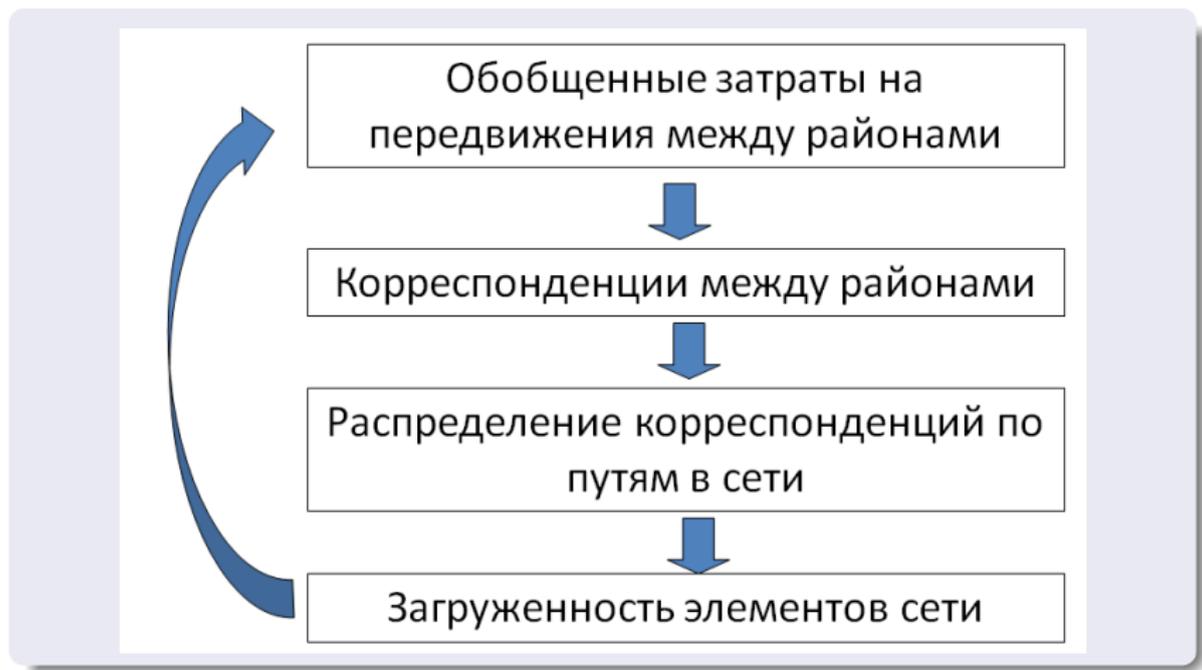
- легковые,
- грузовые легкие,
- грузовые средние,
- грузовые тяжелые,
- грузовые тяжелые с пропуском на МКАД.

Пассажирские потоки

Модель оптимальных стратегий.

- Учет средних интервалов движения на маршрутах: формирование псевдо-маршрутов для пригородных поездов и областных автобусов.
- Учета провозной способности («послойное» распределение корреспонденций с пересчетом штрафной цены за посадку в салон).

«Большие» итерации расчета



Программная реализация

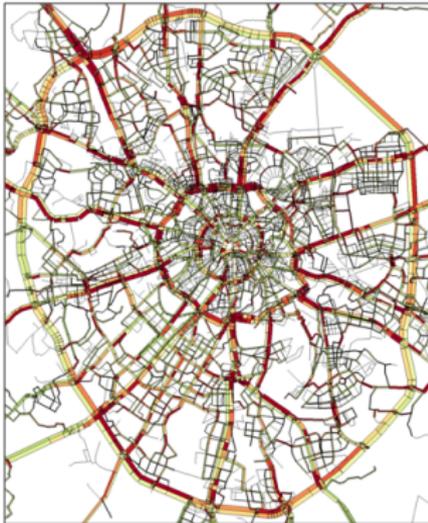
	MS Excel + Visual Basic	TransNet
Емкости районов	Обработка данных	Пересчет данных по контурам районов
Генерация передвижений	Формулы	
Матрицы обобщенных затрат		Встроенные алгоритмы
Матрицы корреспонденций	Генерация командного файла	Команды матричных вычислений
Распределение потоков		Встроенные алгоритмы
Представление результатов	Обработка выходных таблиц	Вывод таблиц данных

Фрагмент таблицы автоматически сгенерированных команд TransNet

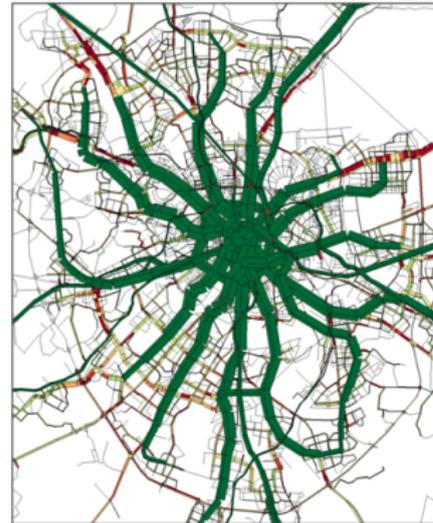
Слой	Дальность	Инициализация матрицы слоя	Балансировка матрицы слоя
t_01	120	MFormula \m kt_01 \f "(mx>=0)*(1+(mx/120)^2.5)^(-3)"	MBalance \m kt_01 \out t_01_out \in t_01_in \iter 1000 \acc 0.0001
t_02	120	MFormula \m kt_02 \f "(mx>=0)*(1+(mx/120)^2.5)^(-3)"	MBalance \m kt_02 \out t_02_out \in t_02_in \iter 1000 \acc 0.0001
t_05	120	MFormula \m kt_05 \f "(mx>=0)*(1+(mx/120)^2.5)^(-3)"	MBalance \m kt_05 \out t_05_out \in t_05_in \iter 1000 \acc 0.0001
t_07	120	MFormula \m kt_07 \f "(mx>=0)*(1+(mx/120)^2.5)^(-3)"	MBalance \m kt_07 \out t_07_out \in t_07_in \iter 1000 \acc 0.0001
t_12	20	MFormula \m kt_12 \f "(mx>=0)*(1+(mx/20)^2.5)^(-3)"	MBalance \m kt_12 \out t_12_out \in t_12_in \iter 1000 \acc 0.0001
t_13	20	MFormula \m kt_13 \f "(mx>=0)*(1+(mx/20)^2.5)^(-3)"	MBalance \m kt_13 \out t_13_out \in t_13_in \iter 1000 \acc 0.0001
t_80	120	MFormula \m kt_80 \f "(mx>=0)*(1+(mx/120)^2.5)^(-3)"	MBalance \m kt_80 \out t_80_out \in t_80_in \iter 1000 \acc 0.0001
t_81	60	MFormula \m kt_81 \f "(mx>=0)*(1+(mx/60)^2.5)^(-3)"	MBalance \m kt_81 \out t_81_out \in t_81_in \iter 1000 \acc 0.0001
t_82	60	MFormula \m kt_82 \f "(mx>=0)*(1+(mx/60)^2.5)^(-3)"	MBalance \m kt_82 \out t_82_out \in t_82_in \iter 1000 \acc 0.0001
t_83	60	MFormula \m kt_83 \f "(mx>=0)*(1+(mx/60)^2.5)^(-3)"	MBalance \m kt_83 \out t_83_out \in t_83_in \iter 1000 \acc 0.0001
t_87	60	MFormula \m kt_87 \f "(mx>=0)*(1+(mx/60)^2.5)^(-3)"	MBalance \m kt_87 \out t_87_out \in t_87_in \iter 1000 \acc 0.0001
t_90	120	MFormula \m kt_90 \f "(mx>=0)*(1+(mx/120)^2.5)^(-3)"	MBalance \m kt_90 \out t_90_out \in t_90_in \iter 1000 \acc 0.0001
t_91	60	MFormula \m kt_91 \f "(mx>=0)*(1+(mx/60)^2.5)^(-3)"	MBalance \m kt_91 \out t_91_out \in t_91_in \iter 1000 \acc 0.0001
t_92	60	MFormula \m kt_92 \f "(mx>=0)*(1+(mx/60)^2.5)^(-3)"	MBalance \m kt_92 \out t_92_out \in t_92_in \iter 1000 \acc 0.0001

Результаты расчетов по Москве

Автомобильные потоки (цветом показана степень загрузки)



Пассажирские потоки на общественном транспорте

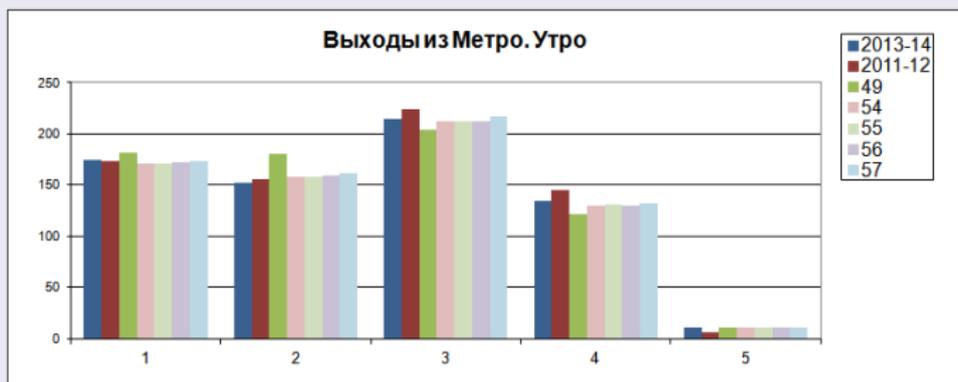


Калибровка модели Москвы

Группы показателей для калибровки модели

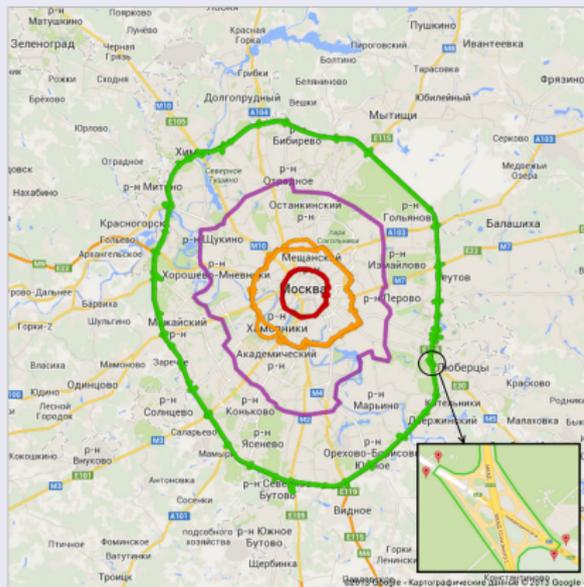
Автомобили	Потоки в сечениях, в разбивке по группам
Метро	Вход-выход на станциях
Пригородная ЖД	Вход-выход на станциях
Наземный ОПТ	Суммарная посадка-высадка около станций

Пример хода калибровки



Калибровка модели Москвы

Группы сечений в Москве



Расхождения с наблюдениями от 0 до 30%.

Группы сечений в МО

№	Группы сечений
1	МКАД внутр
2	МКАД внешн
3	МКАД
4	Радиальные
5	Рокадные
6	ММК внутр
7	ММК внешн
8	ММК
9	Радиальные дальн
10	Рокадные дальн
11	Граница МО

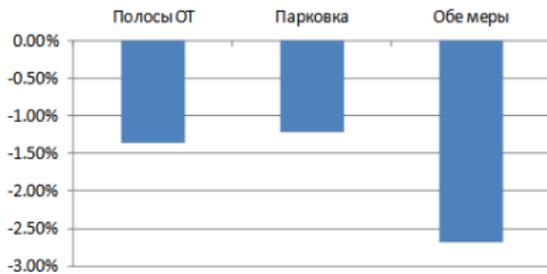
Моделирование последствий мер правительства Москвы

Оценка влияния 2-х основных мер на автомобильные пробег:

- платные парковки в центре,
- приоритетные полосы для движения ОПТ.

Полученное расчетное снижение пробега легковых автомобилей совпадает с независимыми данными.

Расчетное изменение пробега легковых автомобилей



Расчетное изменение пробега грузовых автомобилей

