

Разработка комплексных моделей прогноза транспортных и пассажирских потоков в городских и междугородних транспортных сетях

Руководитель проекта
В.И.Швецов

Отчет за 2013 г.

Основные результаты

- 1) Разработана комплексная методика прогноза транспортных и пассажирских потоков, основанная на 4-шаговом подходе. На основе разработанной методики реализована транспортная модель транспортной системы г. Москвы и ближайших пригородов. Начата разработка варианта модели, учитывающей цепочки взаимосвязанных передвижений. Модель с тройной цепочкой одного типа была реализована на тестовом примере.
- 2) Разработана общая структура информационного обеспечения транспортной модели крупного города. Информационное обеспечение включает вес виды исходных данных и фактических параметров передвижений для калибровки модели. Начато создание банка данных для калибровки транспортной модели г. Москвы.
- 3) Разработана микроскопическая модель динамики транспортного потока на многополосной магистрали на основе клеточных автоматов с усовершенствованными правилами смены полосы. С ее помощью было исследовано влияние перекрещивания транспортных потоков на пропускную способность многополосной магистрали. Для двух-полосной магистрали со съездом получены пространственно-временные диаграммы плотности при различном распределении съезжающих по полосам. Полученные результаты демонстрируют огромное влияние организации дорожного движения на пропускную способность автомобильных дорог.
- 4) Проведен анализ требований к математической модели транспортной системы с точки зрения применения в области градостроительства и территориального планирования. Результаты анализа будут использованы для улучшения алгоритмического обеспечения расчетов.

Научная новизна

- 1) В мире существует большое число транспортных моделей в рамках 4-шагового подхода, однако сам этот подход формирует только общую схему расчетов. Разработанная методика предлагает конкретные решения по подготовке данных, алгоритмам на всех шагах расчета, а также по взаимному влиянию этих шагов (оценка общих объемов передвижений, расчет корреспонденций, модальное расщепление и распределение потоков по сети). Это позволяет считать разработанную методику новой.
- 2) Новизна предлагаемой структуры информационного обеспечения транспортной модели крупного города состоит в том, что вместо обычного сравнения результатов моделирования с выборочными данными наблюдений предлагается иерархическая структура информации, что позволит калибровать модель, начиная с агрегированных параметров и далее переходя к большей детализации.
- 3) Микроскопическая модель основана на модели Кернера-Кленова, с новыми усовершенствованными правилами смены полосы. С ее помощью было исследовано влияние перекрещивания транспортных потоков на пропускную способность многополосной магистрали и развитие неустойчивостей. Обычно объектом исследования является потеря устойчивости при разных значениях основного потока и потока на съездах-въездах. В данной работе впервые явно моделируется потеря устойчивости в ситуации перекрещивания потоков на полосах при низменном общем потоке.
- 4) В научной литературе и практике замечен разрыв между математиками и градостроителями-планировщиками в понимании задач и возможностей математического моделирования. Проведенный междисциплинарный анализ является новым.

Основные характеристики модели прогноза транспортных потоков

- в условиях высокой степени загруженности улиц и дорог пропускные способности элементов сети играют решающую роль при выборе путей передвижений;
- структура передвижений резко меняется на протяжении суток, а также зависимости от дня недели и времени года;
- на выбор путей и способов передвижений влияют факторы разной природы, такие как время, цена передвижения и другие;
- существует взаимная зависимость между процессами формирования автомобильных потоков и пассажирских потоков в системе общественного транспорта.

Особенности разрабатываемой модели

1) Развитие моделей прогноза транспортных потоков в мире в основном идет по пути усложнения алгоритмов. Однако, для целей долгосрочного планирования требуются более простые модели, в частности, не требующие излишней (неизвестной на ранних этапах планирования) детализации параметров транспортной системы. Мы предлагаем механизмы учета цепочек в рамках простой 4-шаговой схемы, то есть сохраняя относительную вычислительную простоту.

2) Использование на всех шагах расчета согласованной концепции обобщенной цены передвижения:

- В расчете корреспонденций – мера межрайонной дальности;
- В расщеплении по видам транспорта – мера привлекательности выбора вида транспорта;
- В распределении корреспонденций по сети - критерий выбора путей передвижения.

Обобщенная цена передвижения

Взвешенная сумма слагаемых, выражающих влияние факторов различной природы на оценку пути:

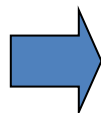
- время передвижения;
- дополнительные задержки на различных элементах транспортной сети (время парковки, время ожидания);
- денежные затраты (плата за проезд в общественном транспорте, платные дороги, плата за въезд в определенные зоны города);
- условные штрафные добавки времени, используемые для моделирования различных особенностей транспортной сети и мер по управлению транспортом.

Подбор коэффициентов перевода слагаемых в штрафные минуты на основе социологических исследований и калибровки.

Структура передвижений

Основные цели передвижений:

- Работа
- Учеба
- Культ.-быт. ("ближний")
- Культ.-быт. ("дальний")
- Медицина
- Досуг
- Вокзалы, аэропорты

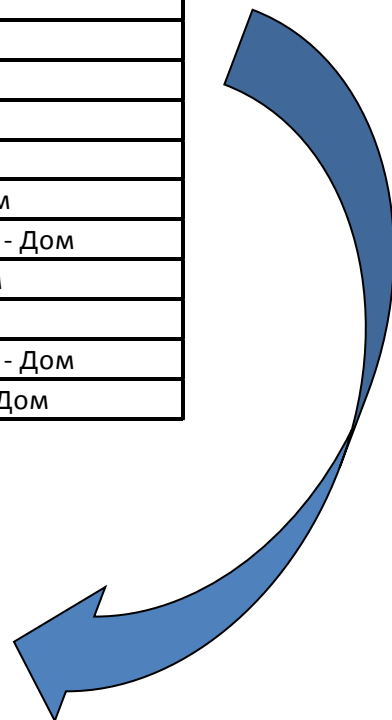


Основные цепочки передвижений

Простые	Дом - Работа - Дом
	Дом - Учеба - Дом
	Дом - КБ - Дом
	Дом - Досуг - Дом
	Дом - Медицина - Дом
	Дом - Вокзал - Дом
	Работа - Дело - Работа
Сложные	Дом - Работа - КБ - Дом
	Дом - Работа - Досуг - Дом
	Дом - Работа - Медицина - Дом
	Дом - Работа - Дело - Дом
	Дом - КБ - Работа - Дом
	Дом - Медицина - Работа - Дом
	Дом - Встреча - Работа - Дом

Итоговые матрицы корреспонденций

	Дом	Работа	Школа	БКБ	ДКБ	Мед	Досуг	Вокзалы
Дом	0	570	250	180	85	20	70	15
Работа	470	160	15	70	20	10	10	0
Школа	230	15	0	15	0	0	20	0
БКБ	270	10	15	150	20	0	20	0
ДКБ	95	0	0	20	10	10	0	0
Мед	30	0	0	10	0	0	0	0
Досуг	80	0	0	40	0	0	10	0
Вокзалы	15	0	0	0	0	0	0	0



Данные по подвижности

- Примеры иностранных данных
- Опросы ИСА РАН

Опрос по выявлению характеристик перемещения жителей Москвы и МО

Институт Системного Анализа Российской академии наук проводит опрос жителей центрального региона совершающих поездки в Москве. Вам предлагается ответить всего на 2 вопроса о Ваших перемещениях по Москве. Ваши ответы нужны для улучшения математической модели транспортной системы. Они поспособствуют прогрессу науки!

Если Вы не совершаете поездок по Москве, пожалуйста, не проходите этот опрос.

*** Required**

С какой целью Вы перемещались по Москве в ближайший будний день? *

Если вы посетили несколько разных мест - пометьте все. Если цель вашей поездки не подходит ни под одну из предложенных рубрик, пожалуйста, сформулируйте ее в рубрике "Другое". Так мы вместе улучшим рубрикатор.

- ☐ Работа
- ☐ Деловая поездка (деловая встреча/конференция/доклад/совещание)
- ☐ Учеба в ВУЗе/доп. образование
- ☐ Учеба в школе/лицее/колледже
- ☐ Покупки (ТЦ/магазины/рынки/аптеки)
- ☐ Услуги (банки/почта/парикмахерские/прачечные и др.)
- ☐ Гос. учреждения (налоговая/милиция/суд/БТИ/ОВИР/посольства/консульства)
- ☐ Мед. учреждения (поликлиника, больница, в т.ч. с целью посещения больных)
- ☐ Культура и зрелища (кино, театр, музей, концерты, спортивные зрелища)
- ☐ Досуг (поесть-потанцевать, заняться спортом, парки, пляж, шашлыки)
- ☐ Посещение друзей и родственников (у них дома)
- ☐ Вокзалы/аэропорты (отправление/прибытие/проводы)
- ☐ На дачу, в деревню (в глушь, в Саратов)
- ☐ Other:

Укажите количество мест, посещенных, начиная от выхода из дома и до возвращения домой *

Если вы выходили из дома больше одного раза, то укажите число посещенных мест для одного из выходов - который вы считаете обычным для себя.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Данные по подвижности

Генерация потоков

- «Упрощенный» учет цепочек: на уровне общих объемов отправления и прибытия в каждом районе.
- Оценка наполнения в условиях неточной и недостаточной информации:
 - экспертная оценка площади жилой и нежилрой застройки,
 - подбор коэффициентов эффективности использования площадей в зависимости от расположения (в ходе калибровки модели).

Межрайонные корреспонденции

Суточные матрицы для разных слоев передвижений – классическая гравитационная модель (с индивидуальным подбором параметров функции тяготения по слоям).

Расщепление по способам передвижения (пешком, на автомобиле, на общественном транспорте) – классическая модель дискретного выбора multinomial logit.

Матрицы для разного времени суток (утренний и вечерний часы «пик», средний дневной час) – эмпирические коэффициенты неравномерности по часам суток.

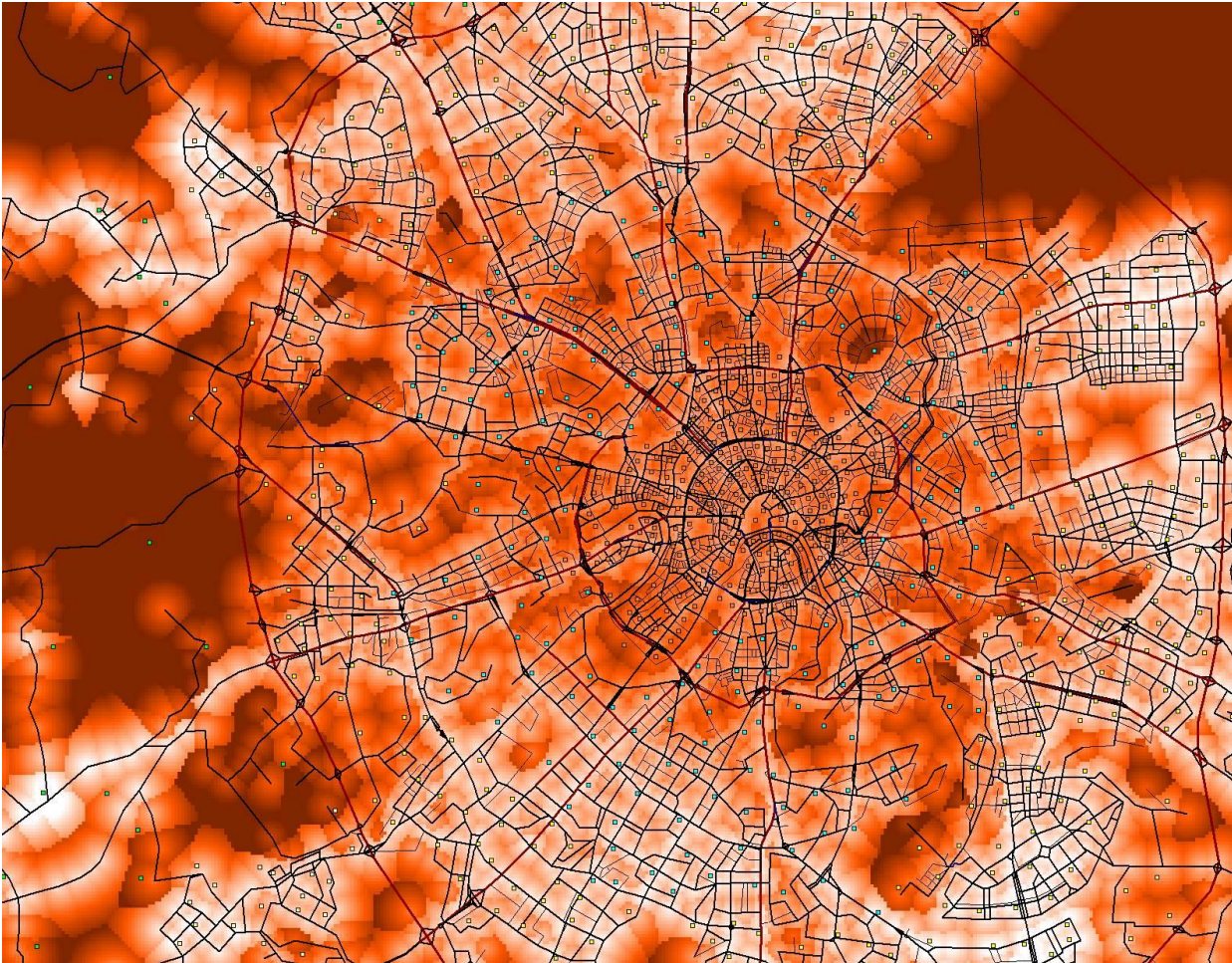
Сравнение 2-х способов балансировки

- «стандартная» балансировка коэффициентами;
- «быстрая» балансировка по Arrowsmith.

Смысл коэффициентов балансировки.

Коэффициенты балансировки для обычных узлов, как характеристика территории.

Показатели транспортной доступности территории



Среднее время
трудо вой поездки

Классификация цепочек по времени совершения входящих в их состав поездок

Дом → Работа → Дом

Дом ^{утро} → Работа ^{вечер} → Дом

Дом ^{утро} → Работа ^{день} → Дом

Дом ^{день} → Работа ^{вечер} → Дом

Дом ^{день} → Работа ^{день} → Дом

Расчет корреспонденций

Для временной группы



в качестве межрайонной дальности в гравитационной модели используем

$$t_{ij} = t_{ij}^{\text{Время 1}} + t_{ji}^{\text{Время 2}}$$

Модальное расщепление

Дом $\xrightarrow{\text{Время 1}}$ Работа $\xrightarrow{\text{Время 2}}$ Дом

Дом $\xrightarrow{\text{Время 1}}$ Работа $\xrightarrow{\text{Время 2}}$ Дом (легковой)

Дом $\xrightarrow{\text{Время 1}}$ Работа $\xrightarrow{\text{Время 2}}$ Дом (обществ.)

Коэффициент расщепления:

$$s = e^{-\alpha t_{pub}} / (e^{-\alpha t_{pub}} + e^{-\alpha t_{car-d}})$$
$$t_{ij} = t_{ij}^{\text{Время 1}} + t_{ji}^{\text{Время 2}}$$

Разложение цепочек на поездки

Дом $\xrightarrow{\text{Время 1}}$ Работа $\xrightarrow{\text{Время 2}}$ Дом (обществ.)

Дом $\xrightarrow{\text{Время 1}}$ Работа (обществ.)

Работа $\xrightarrow{\text{Время 2}}$ Дом (обществ.)

Дом $\xrightarrow{\text{Время 1}}$ Работа $\xrightarrow{\text{Время 2}}$ Дом (легковой)

Дом $\xrightarrow{\text{Время 1}}$ Работа (легковой)

Работа $\xrightarrow{\text{Время 2}}$ Дом (легковой)

Расчет часовых матриц корреспонденций

Время 1 Время 2
Дом \longrightarrow Объект \longrightarrow Дом

Время 1
Дом \longrightarrow Объект (легковой)

Время 2
Объект \longrightarrow Дом (легковой)

Время 1
Дом \longrightarrow Объект (обществ.)

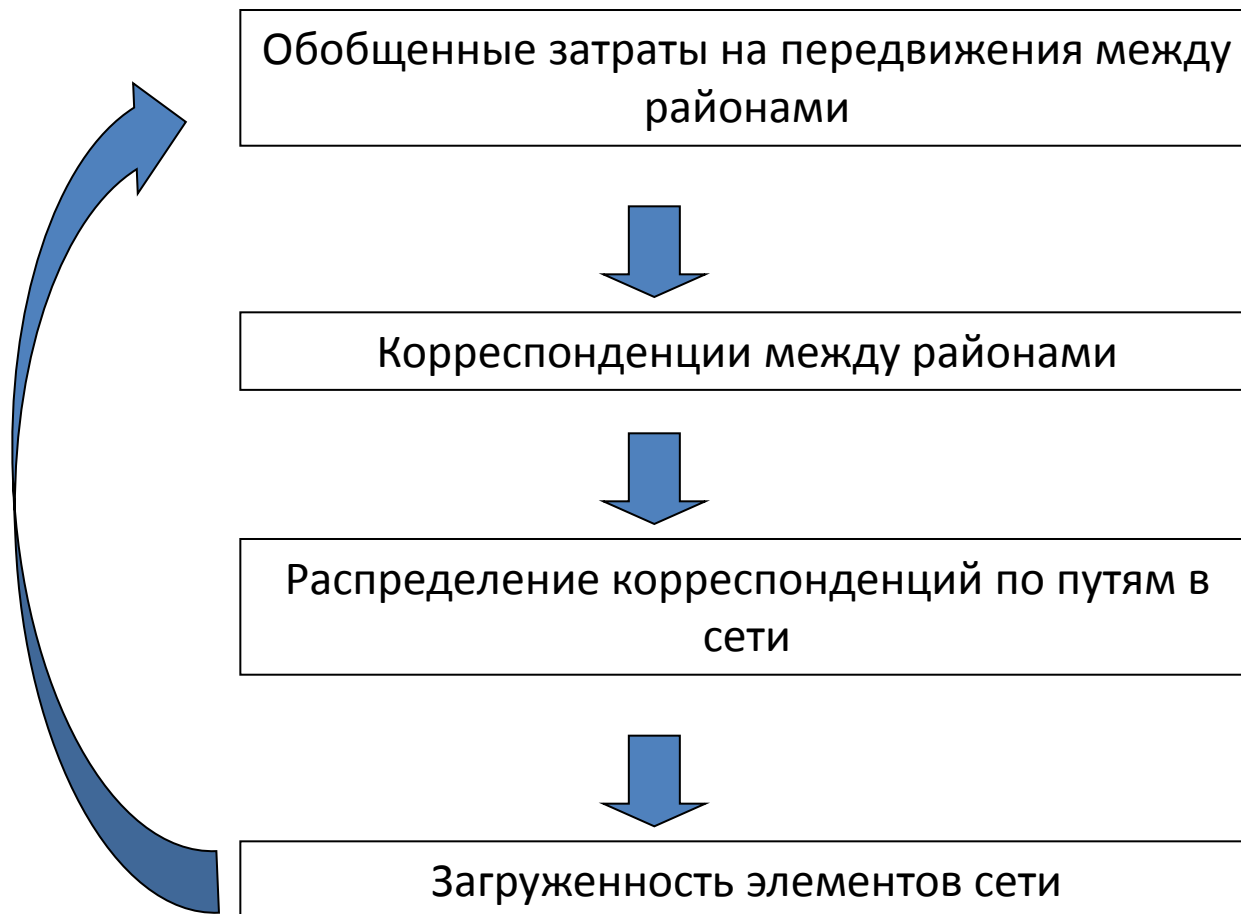
Время 2
Объект \longrightarrow Дом (обществ.)

Для каждого времени суток и для каждого способа передвижения суммируем все матрицы корреспонденций, соответствующие поездкам, составляющим различные цепочки **Дом – Объект – Дом**, и различным временным группам, и делим на количество часов во времени суток.

Распределение по сети

- Автомобильные потоки – классическая модель равновесного распределения с несколькими классами пользователей,
- Пассажирские потоки – модель оптимальных стратегий, модифицированная для учета провозной способности («послойное» распределение корреспонденций с пересчетом штрафной цены за посадку в салон).

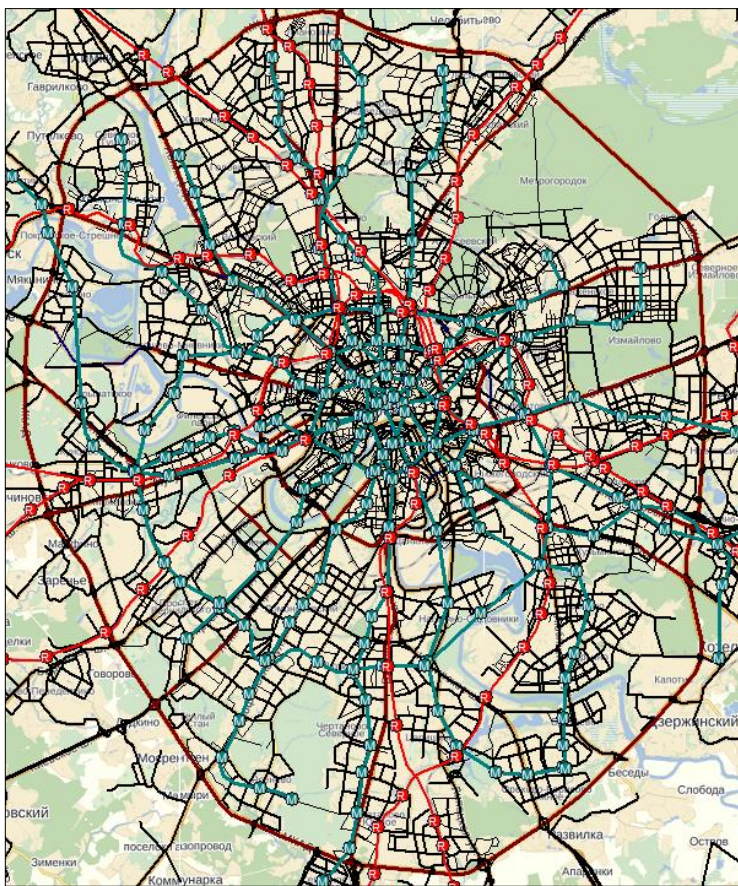
«Большие» итерации расчета



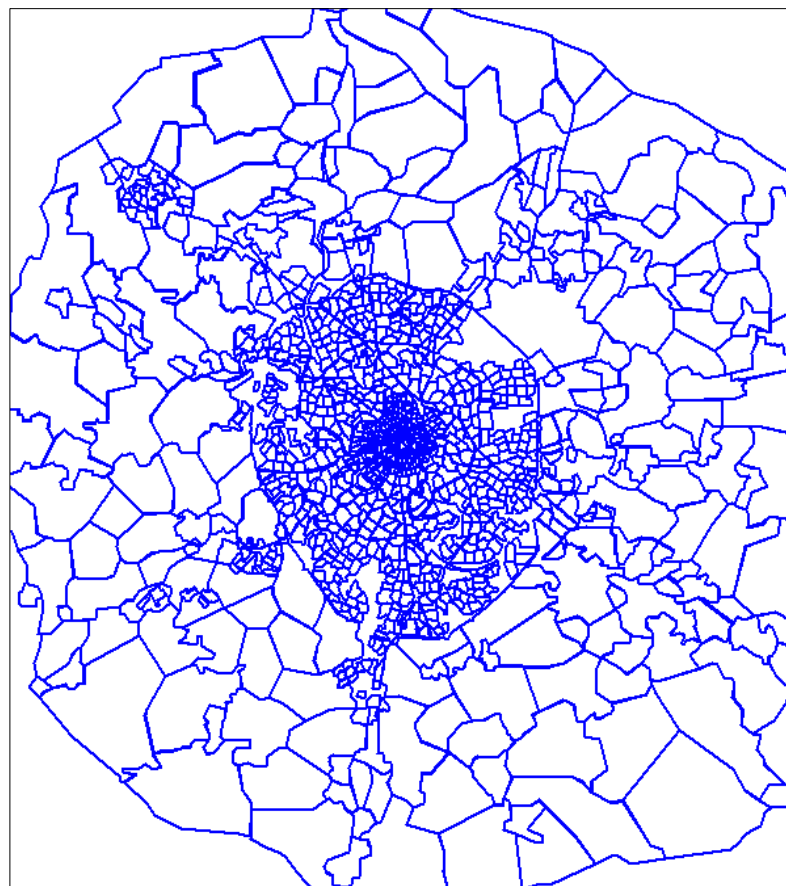
Практическая реализация - модель Москвы с пригородами

(совместно с Центром Исследований Транспортной Инфраструктуры, г. Москва, и привлеченными специалистами)

Расчетный граф (фрагмент)

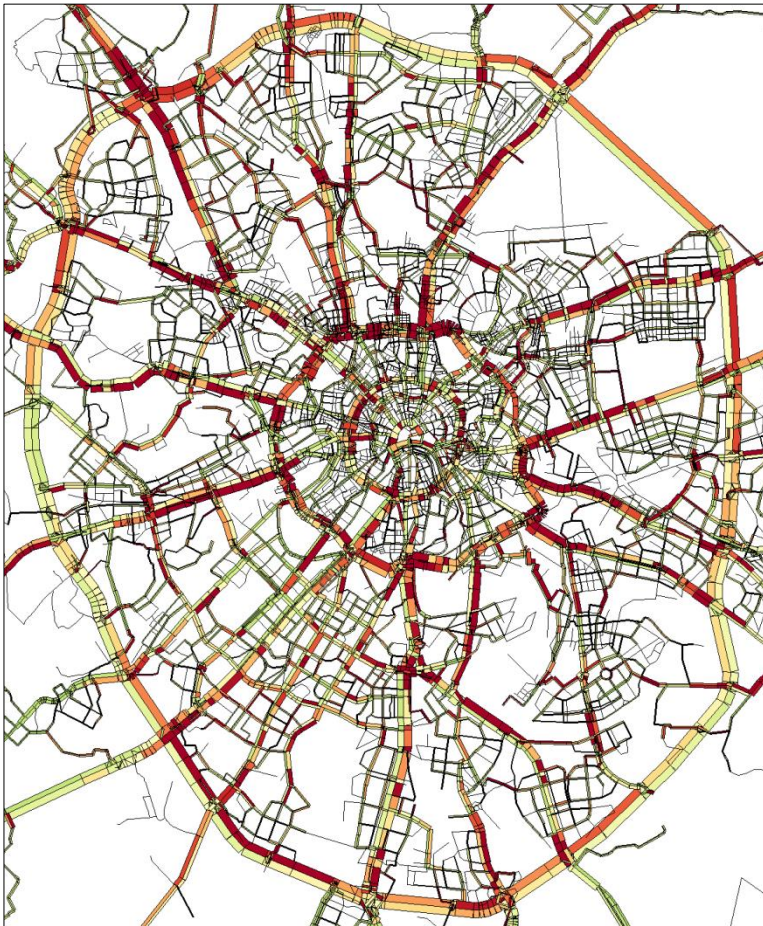


Система расчетных транспортных
районов

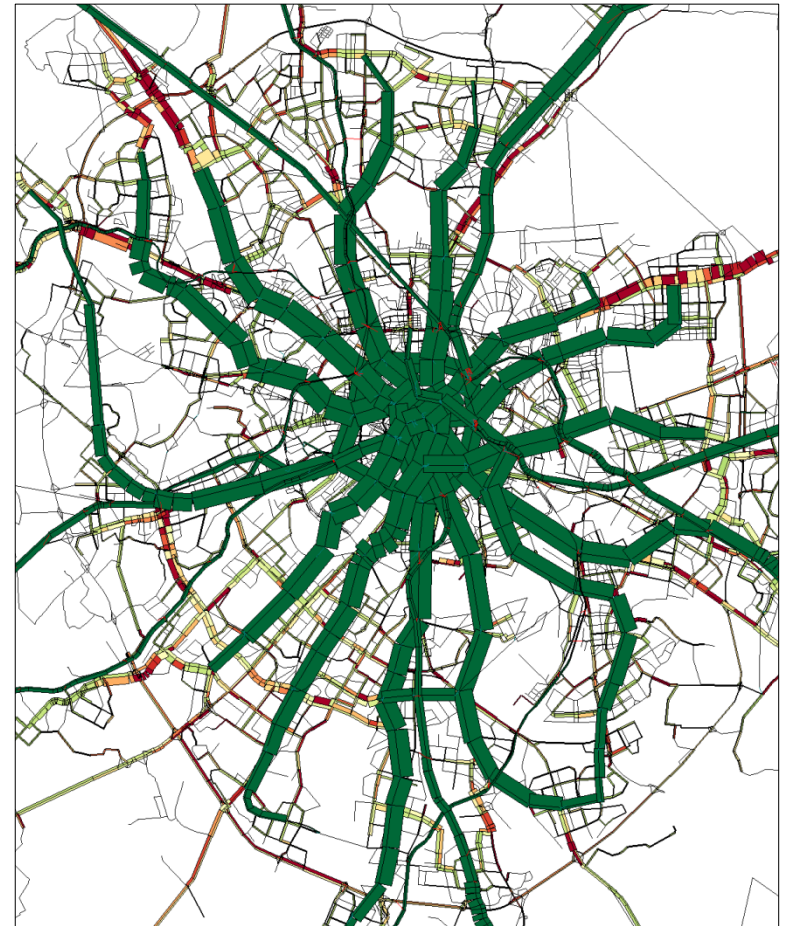


Результаты расчетов по Москве

Автомобильные потоки (цветом показана степень загрузки)



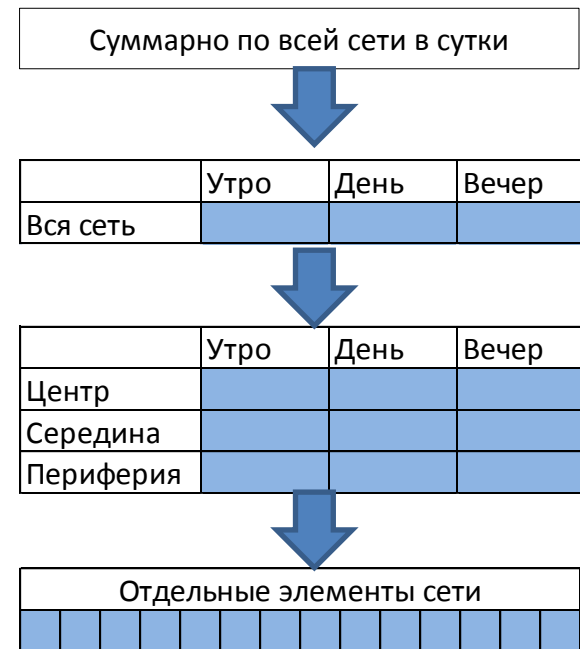
Пассажирские потоки на общественном транспорте



Структура данных для калибровки

Распространенные в мире практики калибровки предлагают сопоставление расчетных и фактических данных на некоторых выборках элементов сети. Этот метод представляется ненадежным в силу обычной зашумленности фактических данных. Мы предлагаем иерархическую структуру информации, которая позволит калибровать модель по агрегированным параметрам.

Автомобильный транспорт	Потоки в сечениях (в разбивке по типам)
Метро	Вход-выход на станциях
Пригородная ЖД	Вход-выход на станциях
Наземный ОПТ	Суммарная посадка-высадка около станций метро

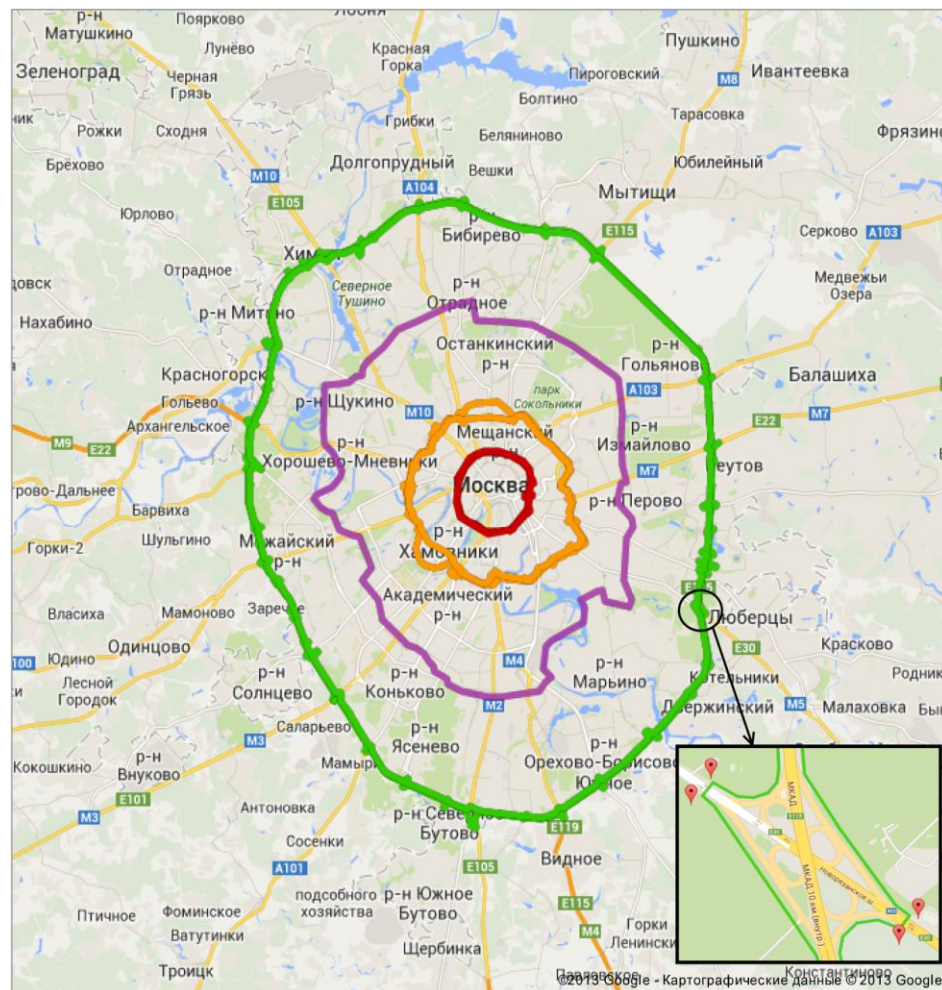


Калибровка модели Москвы

Согласование границ:

- Расчетные транспортные зоны;
- Области агрегирования эмпирических данных для калибровки;
- Административное деление;
- Естественные препятствия.

Кольцевые зоны Москвы для агрегирования данных с автоматических детекторов



Модель динамики потока на многополосной дороге

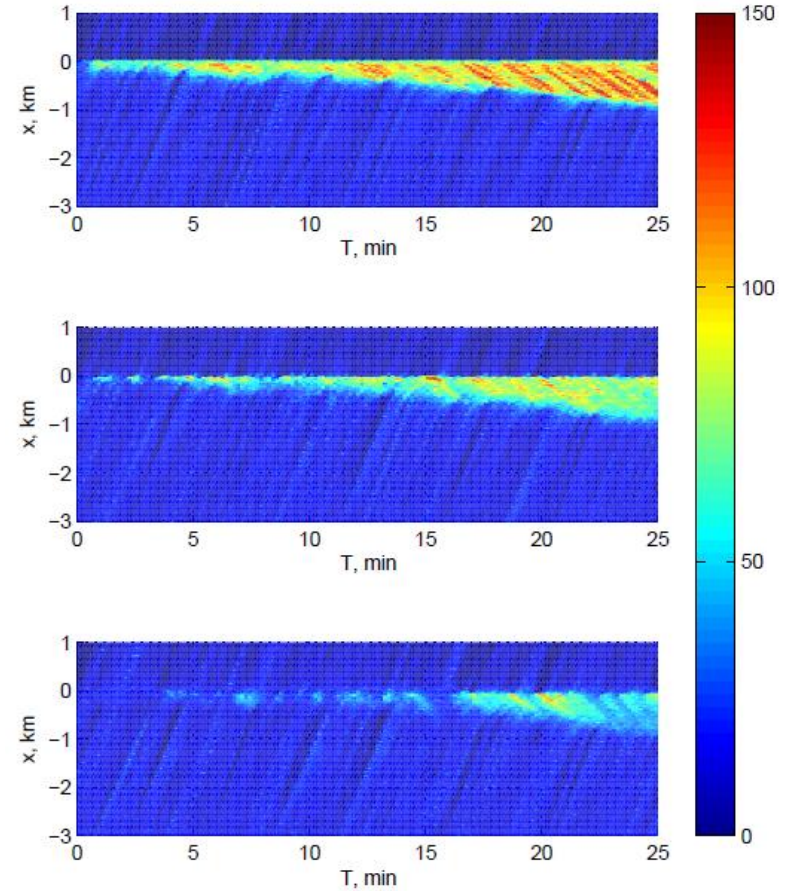
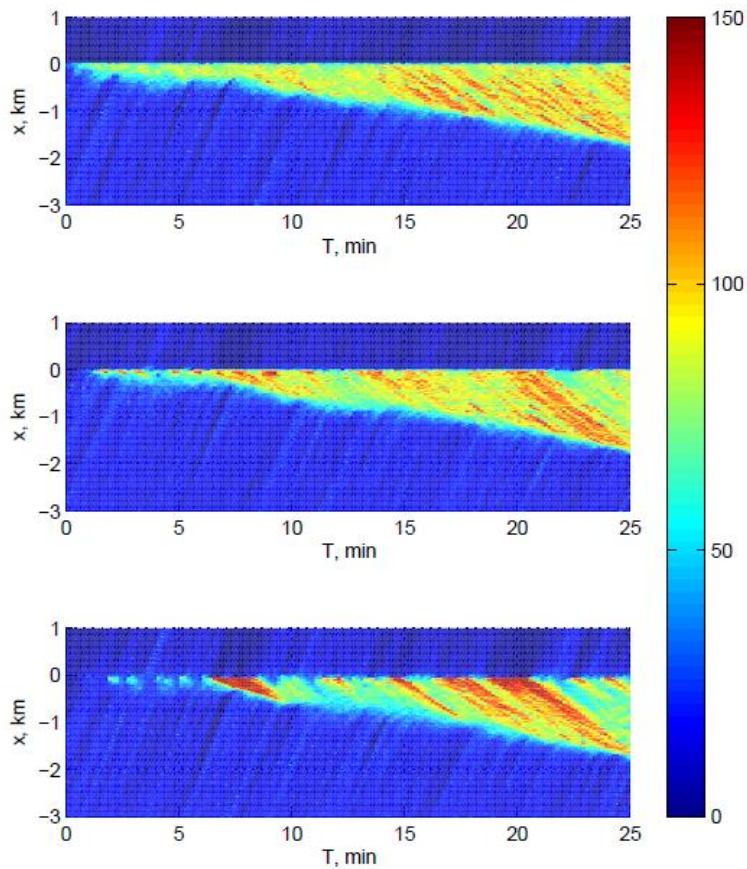
- Разработана модель многополосного движения на основе стохастической дискретной модели Кернера-Кленова. Введен ряд параметров, определяющих поведение водителя при следовании за лидером и перестроениях. Введены два новых механизма в правила вынужденных перестроений: нарастание агрессивности водителей при приближении к съезду с магистрали и проявление взаимной вежливости водителей при перестроениях.
- Проведен анализ данных о траекториях транспортных средств NGSIM. Получены распределения основных параметров модели и распределение временных интервалов, необходимое для генерации транспортных средств в узлах-источниках.
- Проведены численные эксперименты по исследованию динамики потока вблизи съезда с магистрали. Получены пространственно-временные диаграммы плотности потока при различных сценариях. Выполненные эксперименты свидетельствуют об эффективности введения новых элементов.
- С помощью модели проведена оценка влияния перекрещивания транспортных потоков на пропускную способность магистралей. Результаты расчетов демонстрируют огромную роль организации дорожного движения в возникновении заторов на дорогах. Стоит отметить, что модель не учитывает возможные ДТП, а их число в регионе скрещивания потоков значительно выше обычных показателей.

Новые результаты

- Введены индивидуальные для каждого участника движения параметры поведения, что находит отражение в различной оценке безопасной дистанции, различной частоте перестроений и других аспектах.
- Введена более точная процедура принятия решений при смене полосы. В отличие от существующих моделей вероятность смены полосы не является постоянной, а зависит от условий движения на соседней полосе.
- Введены два новых механизма, повышающие адекватность модели вынужденных перестроений: нарастание агрессивности водителя при приближении к цели и проявление водителями взаимной вежливости.
- На основе предложенной модели проведен ряд экспериментов, демонстрирующих огромное влияние проектирования дорог и организации дорожного движения на состояние транспортной системы.

Численные эксперименты

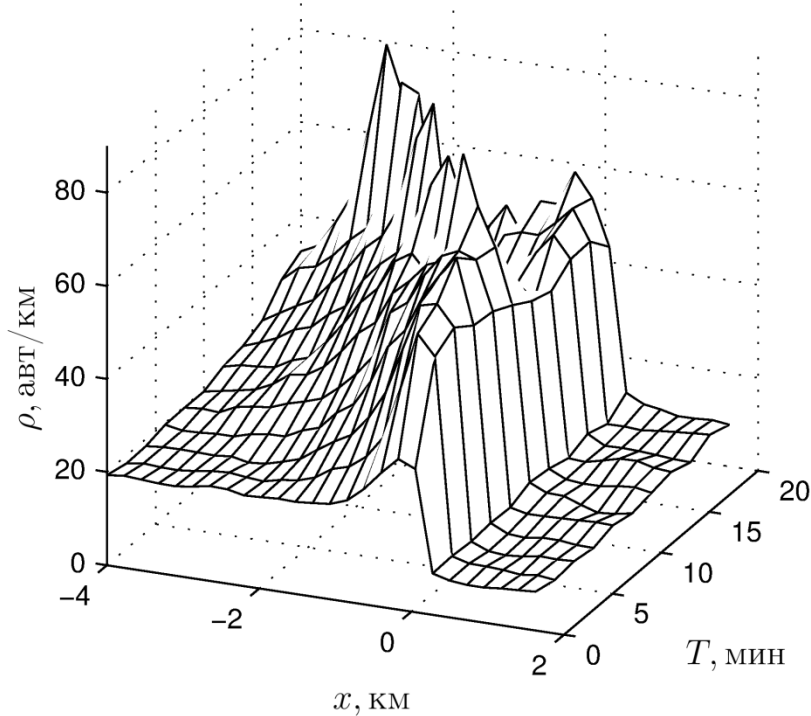
Развитие затора при разных значениях параметра «взаимной вежливости»



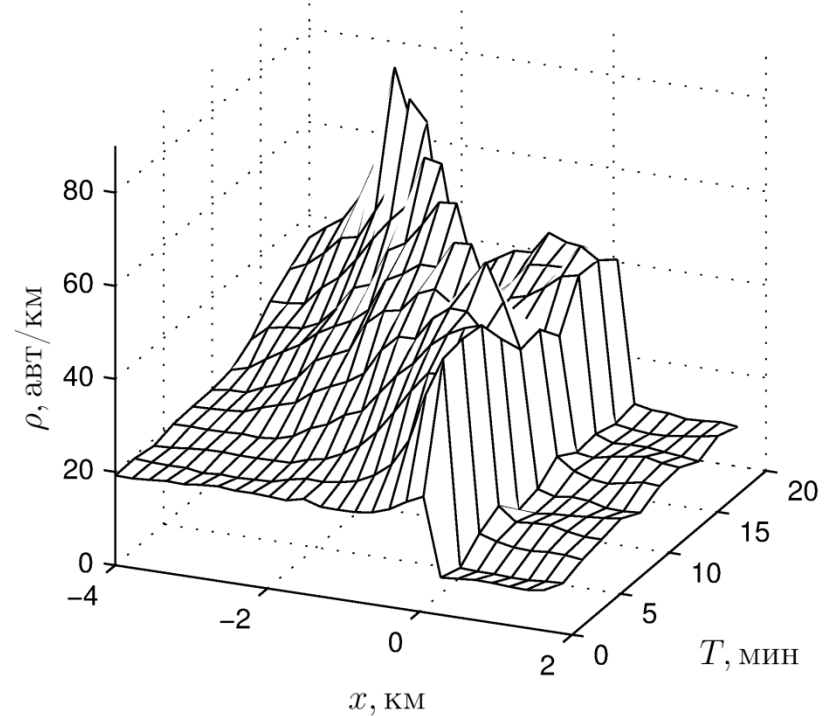
Численные эксперименты

Развитие затора в потоке с «перекрещиванием» перед съездом

Правая полоса



Левая полоса



План на 2014 г.

В ходе настоящего междисциплинарного проекта основной упор делается на исследованиях, обеспечивающих возможность и эффективность практических применений математического моделирования для решения градостроительных и планировочных задач. В связи с этим предполагается практическая реализация предлагаемых методик и алгоритмов на примере экстремально сложного объекта - транспортной системы Москвы и Московской области.

В связи с этим ставятся следующие цели:

- 1) Развитие комплексной модели транспортной системы крупного города с применением к Москве и Московской области.
- 2) Анализ доступных фактических данных по всем аспектам транспортного поведения населения - подвижности, целевой структуре передвижений, расщеплению по способам передвижений. Использование полученных данных при практическом моделировании.
- 3) Разработка методики калибровки транспортной модели крупного города. Создание банка данных для информационного обеспечения модели Москвы и Московской области. Проведение практической калибровки транспортной модели по фактическим данным.
- 4) Разработка методики применения результатов моделирования к практическим задачам планирования. Это предполагает анализ и разработку системы количественных характеристик работы транспортной системы, которые должны быть получены в результате моделирования. Планируется практическая апробация разработанных подходов на примере анализа стратегии развития Московского транспортного узла с применением моделирования.