

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ВЛАДИВОСТОКА

Нурминский Е.А. Шамрай Н.Б.
nurmi@dvo.ru, shamray@dvo.ru

Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток

Региональная научно-практическая конференция «Дальний Восток:
проблемы развития архитектурно-строительного и
дорожно-транспортного комплексов»
15 октября 2012

Что и зачем исследуем?

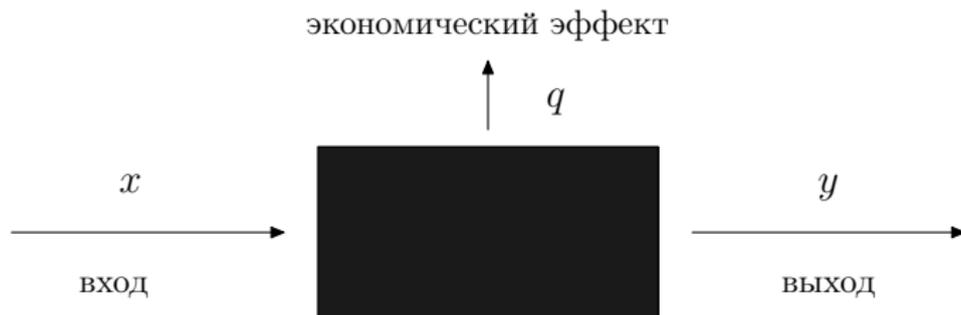
Объект исследования:

Транспортные потоки Владивостока.

Задачи:

- Прогнозирование загрузки элементов транспортной инфраструктуры города.
- Определение транспортных расходов участников движения.
- Управление транспортными потоками.

Экономический подход: затраты-выпуск



- x – усилия, предпринятые для перевозки, нагрузка на транспортную систему;
- y – объем грузов или количество людей, перевезенные системой;
- q – социальная, экономическая, экологическая и пр. оценки процесса.



Beckmann M., C.B. McGuire C.B., Winsten C.B. Studies in the economics of transportation // Research memorandum No. RM-1488, Santa Monica: RAND Corporation, 1955.

Поведенческие принципы

Анархия

Каждый участник минимизирует свои затраты, не вступая в коалиции, не обмениваясь информацией, не помогая и не противодействуя остальным (BMW-модель).

Поведенческие принципы

Анархия

Каждый участник минимизирует свои затраты, не вступая в коалиции, не обмениваясь информацией, не помогая и не противодействуя остальным (BMW-модель).

Тоталитаризм

Оптимизируется некоторая общая системная выгода (оптимизационные транспортные задачи).

Поведенческие принципы

Анархия

Каждый участник минимизирует свои затраты, не вступая в коалиции, не обмениваясь информацией, не помогая и не противодействуя остальным (BMW-модель).

Тоталитаризм

Оптимизируется некоторая общая системная выгода (оптимизационные транспортные задачи).

Олигополия перевозчиков

Перевозки осуществляются относительно небольшой группой конкурирующих (или вступающих в коалиции между собой) транспортных компаний.

Поведенческие принципы

Анархия

Каждый участник минимизирует свои затраты, не вступая в коалиции, не обмениваясь информацией, не помогая и не противодействуя остальным (BMW-модель).

Тоталитаризм

Оптимизируется некоторая общая системная выгода (оптимизационные транспортные задачи).

Олигополия перевозчиков

Перевозки осуществляются относительно небольшой группой конкурирующих (или вступающих в коалиции между собой) транспортных компаний.

Реальность

Смесь всего вышесказанного.

Основные предположения BMW-модели

- 1 Поведение экономических агентов в транспортной системе описывается как бескоалиционная игра многих лиц.

Основные предположения BMW-модели

- 1 Поведение экономических агентов в транспортной системе описывается как бескоалиционная игра многих лиц.
- 2 Результат игры оценивается игроками по удельным временным затратам, которые являются аддитивными функциями нагрузок на элементы сети.

Основные предположения BMW-модели

- 1 Поведение экономических агентов в транспортной системе описывается как бескоалиционная игра многих лиц.
- 2 Результат игры оценивается игроками по удельным временным затратам, которые являются аддитивными функциями нагрузок на элементы сети.
- 3 Объем перевозок фиксированы a priori.

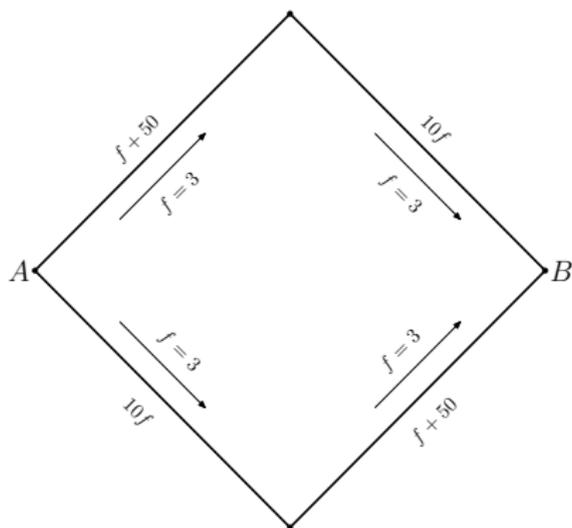
Основные предположения BMW-модели

- 1 Поведение экономических агентов в транспортной системе описывается как бескоалиционная игра многих лиц.
- 2 Результат игры оценивается игроками по удельным временным затратам, которые являются аддитивными функциями нагрузок на элементы сети.
- 3 Объем перевозок фиксированы a priori.

Последующие многочисленные обобщения:

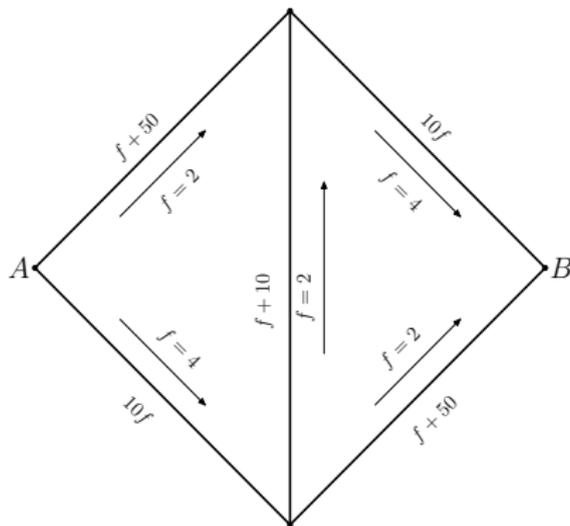
несимметричные затраты, неаддитивные функции, эластичный спрос на перевозки, мультимодальные транспортные системы и многое другое.

Парадокс Брайеса



Расходы каждого участника — 83 мин.

Парадокс Брайеса



Расходы каждого участника — 92 мин.

Есть реальные примеры: Штутгарт, Нью Йорк, Сеул,
Владивосток???

Математика: входные данные

- Непосредственно наблюдаемые:
 - **Транспортная сеть**: вершины (узлы сети), дуги (участки дорог между узлами).
 - **Маршруты**: пути, соединяющие потокообразующие вершины.
- Косвенно определяемые:
 - **Потокообразующие пары вершин**: откуда–куда должны осуществляться перевозки.
 - **Матрица корреспонденций**: объемы перевозок для потокообразующих пар.
 - **Удельные затраты**: время или деньги, затрачиваемые на перевозку единицы продукта по заданному маршруту (зависит от загрузки сети !).

Моделирование корреспонденций

Известны общие объем прибытия-отправления по пунктам, определяются корреспонденции T_{ij} из пункта i в пункт j .

- Энтропийные модели:

$$\max \left(\sum_{i,j} T_{ij} \ln \frac{c_{ij}}{T_{ij}} \right), \quad \sum_{i=1}^m T_{ij} = D_j, \quad \sum_{j=1}^n T_{ij} = S_i, \quad T_{ij} \geq 0.$$

- Гравитационные модели:

$$A_i = \left(\sum_{j=1}^n B_j D_j f(c_{ij}) \right)^{-1} \quad B_j = \left(\sum_{i=1}^m A_i S_i f(c_{ij}) \right)^{-1} .$$

$$T_{ij} = A_i B_j S_i D_j f(c_{ij}),$$

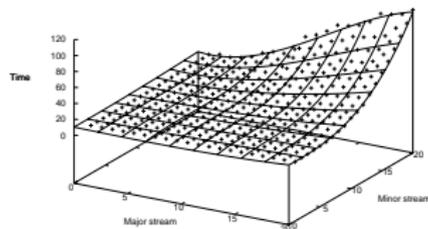
$f(c_{ij})$ — функция "притяжения" между пунктами i и j .

- ++ много других ...

Построение функций транспортных затрат

Основные подходы

- 1 статистический: BPR-функция $t_e(x) = \bar{t}_e \left(1 + \frac{x}{y_e}\right)^4$
- 2 микро и макро-моделирование: модель разумного водителя, трехфазная модель Креббса и пр.
- 3 имитационный: агентное моделирование (ANYLOGIC, SESAME, AIMSUM, PTV, TRANSIMS и пр.)



Математика: переменные

- **Потоковые переменные по путям:** объемы перевозок (количество автомобилей) выбравших тот или иной маршрут. Количество переменных потенциально комбинаторно велико, но достаточно легко сокращается.
- **Потоковые переменные по дугам:** объемы перевозок по дугам, расщепленные по дополнительным признакам. Количество переменных оценивается 4-ой степенью количества узлов сети.
Владивосток — примерно $3.5 \cdot 10^{14}$ переменных (4 дня)
Москва — порядка 10^{20} переменных (3000 лет)

Математика: модельные соотношения

- Материальные балансы

$$\sum_{p \in P_w} x_p = d_w \quad \forall w \in W,$$

$$x_p \geq 0, \quad \forall p \in P.$$

- Условия комплементарности

$$x_p u_{p,w}(x) = 0 \quad \forall w \in W, p \in P_w,$$

где

$$u_{p,w}(x) = Z_p(x) - \min_{q \in P_w} Z_q(x) \geq 0$$

проигрыш по затратам на маршруте p по сравнению с наилучшим вариантом проезда для w .

Математика: аппарат

1 Теория и численные методы решения вариационных неравенств различных типов, в частности, проективные методы фейеровского типа:



Нурминский Е.А., Шамрай Н.Б. Прогнозное моделирование автомобильного трафика Владивостока // Труды Московского физико-технического института. 2010. Т. 2. No 4(8). С.119-129.



Нурминский Е. А. Фейеровские алгоритмы с адаптивным шагом // Журн. вычисл. матем. и матем. физики. 2011. Т. 51, No. 5. С. 791-801.



Шамрай Н. Б. Поиск потокового равновесия проективными методами с использованием декомпозиции и генерации маршрутов // Автоматика и телемеханика. 2012. No 3.



и др. см http://elis.dvo.ru/~lab_11

2 Высокопроизводительные вычисления:

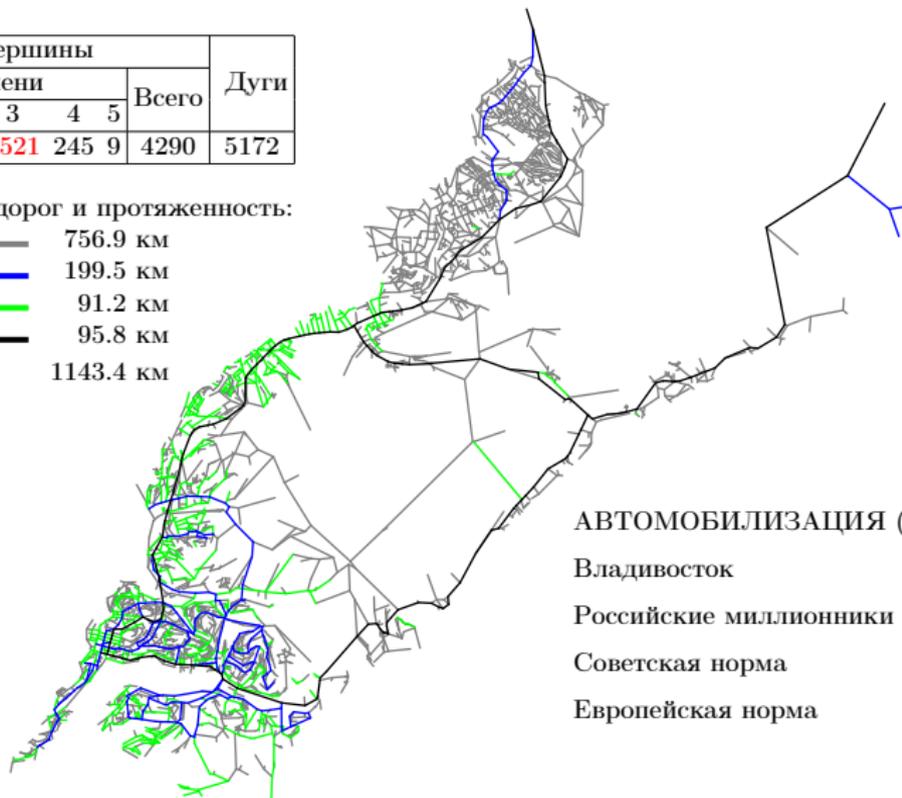
- параллельные алгоритмы решения полиэдральных проективных задач;
- многопроцессорные вычислительные комплексы ЦКП ДВВР ИАПУ ДВО РАН (Владивосток), ИПМ им. Келдыша (Москва);

Моделирование транспортной сети Владивостока

Вершины					Всего	Дуги
Степени						
1	2	3	4	5		
1274	241	2521	245	9	4290	5172

Категории дорог и протяженность:

1		756.9 км
3		199.5 км
2		91.2 км
4		95.8 км
ИТОГО		1143.4 км



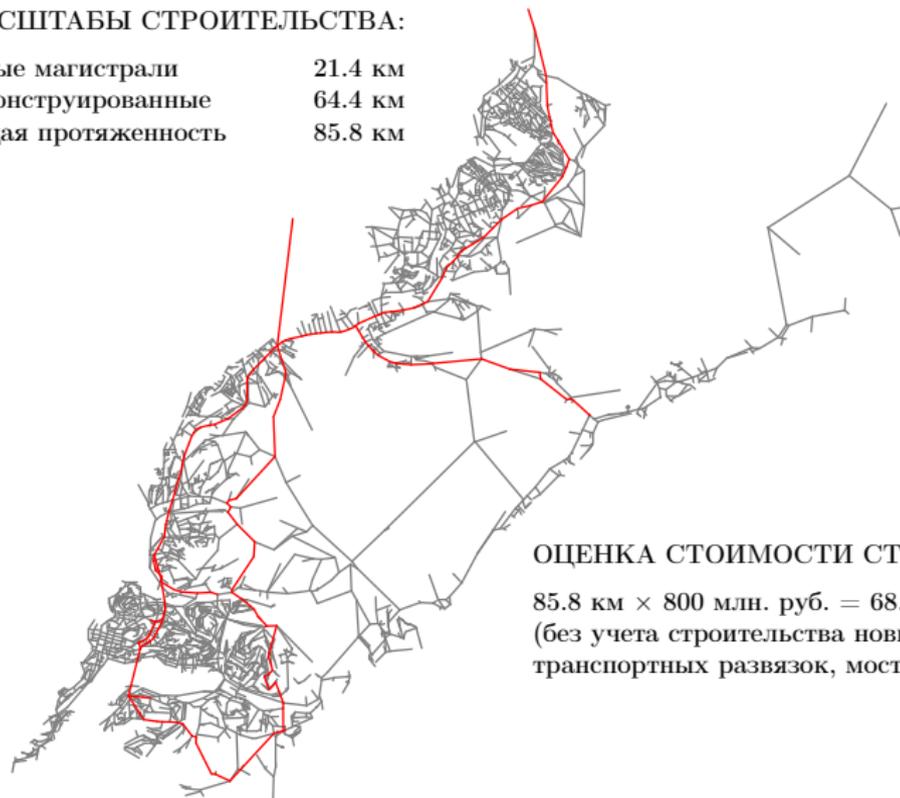
АВТОМОБИЛИЗАЦИЯ (авто/тыс.чел.):

Владивосток	566
Российские миллионники	300-380
Советская норма	60
Европейская норма	400

Дороги первой очередности строительства

МАСШТАБЫ СТРОИТЕЛЬСТВА:

новые магистрали	21.4 км
реконструированные	64.4 км
общая протяженность	85.8 км



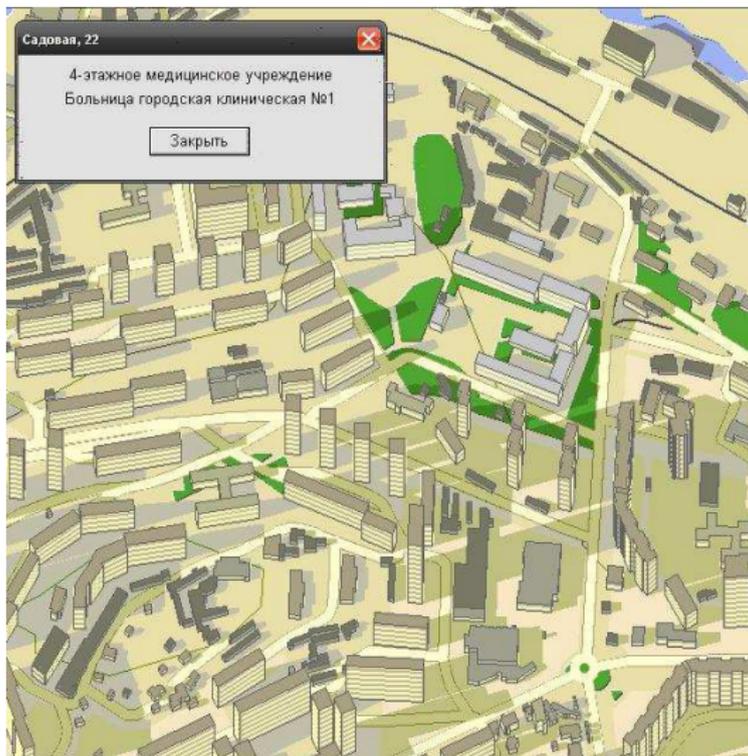
ОЦЕНКА СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА:

$85.8 \text{ км} \times 800 \text{ млн. руб.} = 68.6 \text{ млрд. руб.}$
(без учета строительства новых эстакад,
транспортных развязок, мостов)

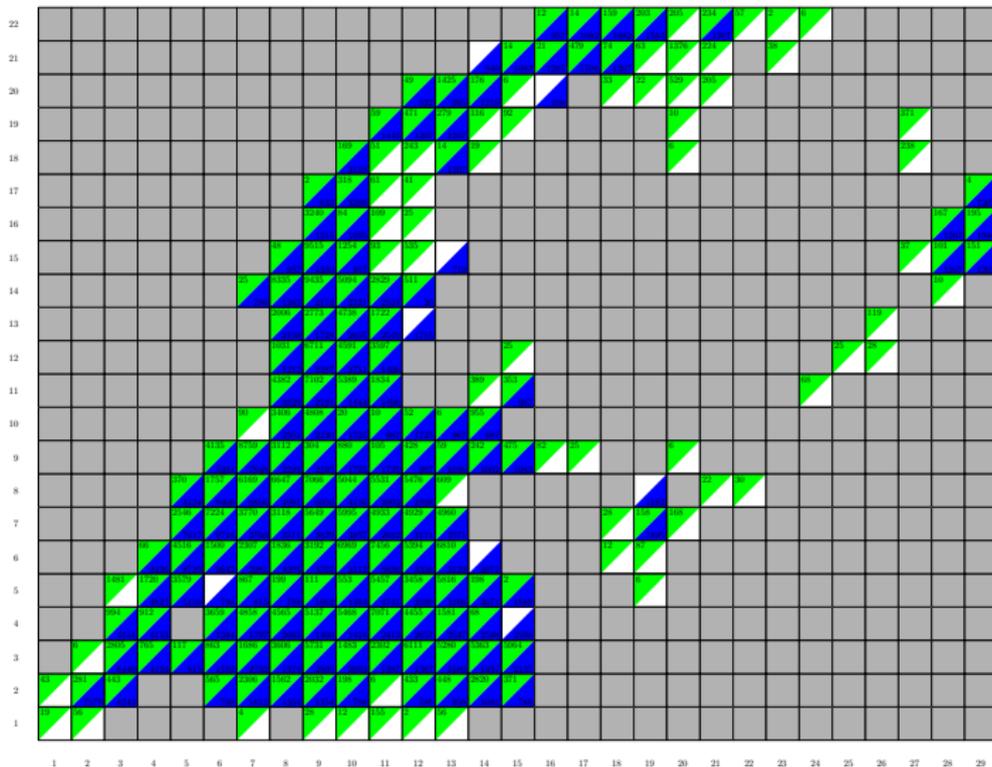
Зонирование территории Владивостока



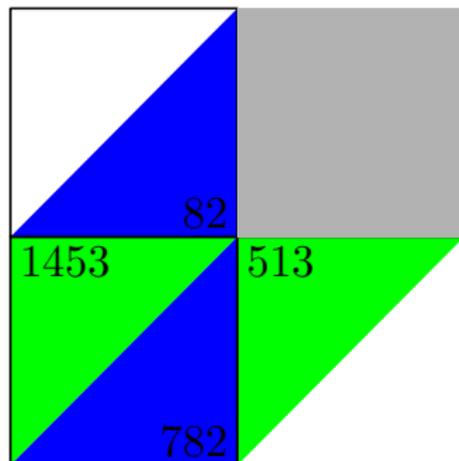
Зонирование территории Владивостока



Матрица отправок и прибытий



Матрица отправлений и прибытий

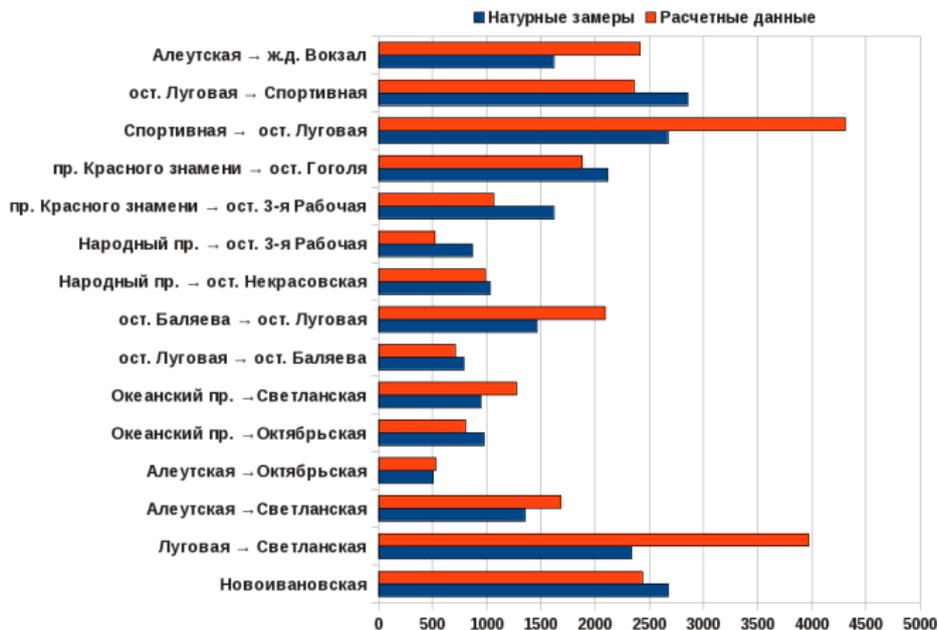


Численность постоянного населения г.Владивостока составляет 578800 человек (2008 г).

Расчеты по матрице отправлений – 587768.

Ошибка – 8968 (1.5%).

Натурные замеры и расчетные данные транспортных потоков в утренний час-пик



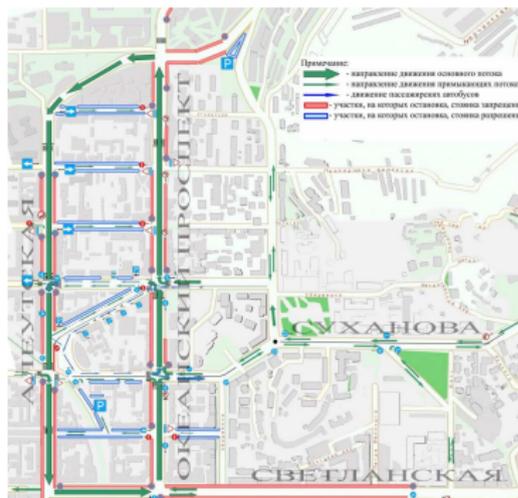
Отклонения: среднее = 13,47%, минимальное = 4,46%, максимальное = 70,21%.

Проблема центра

Схема движения 2010



Схема движения 2012



Анализ схемы движения 2012 года

- Относительные изменения: увеличение системных временных затрат на 0.12%, суммарный перепробег составил 0.49%.
- Экономические потери: 2.3 млн.руб. на проезд, 3.5 млн. руб. на перепробег в год.



Сотрудничество

- Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша
 - ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы»
 - Программа Президиума РАН "Алгоритмы и математическое обеспечение для вычислительных систем сверхвысокой производительности"
- Московский физико-технический институт
 - Первая учебная коллективная монография по мат. моделированию транспортных потоков: Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие // Под ред. А.В. Гасникова. М.: МФТИ, 2010. 361 с. ISBN 978-5-7417-0334-2.
 - Разработка математической модели транспортной системы Москвы (совместно с Деп. транспорта г. Москвы и др. участниками).