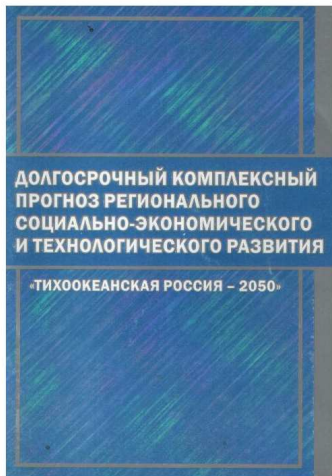


# Анализ транспортных коридоров Азия-Европа с точки зрения теории конкурентного равновесия

Е.А. Нурминский, А.П. Мартюшев  
nurmi@dvo.ru

ИАПУ ДВО РАН, ДВФУ, Владивосток

Тихоокеанская Россия-2050  
Хабаровск, Россия, 18-19 ноября 2010



Раздел "Программы развития: наука и технология" п. 18. Транспортные системы и коридоры.

*... В этих условиях для регионов Дальнего Востока на первый план выдвигаются задачи ... формирования международных транспортных коридоров, ...*



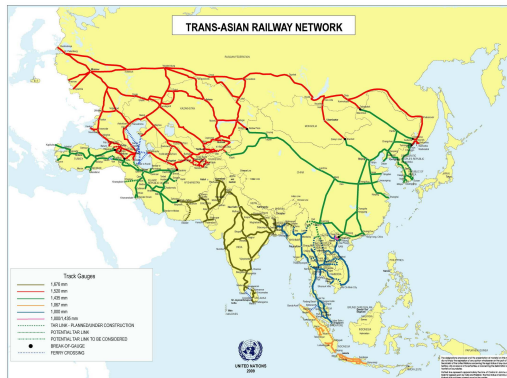
Оптимизация территориальных систем / под редакцией д.э.н. Суспицина С.Ю. / ИЭОПП СО РАН, Новосибирск, 2010 .- 632 с.

Оптимизационная межотраслевая межрайонная модель, имитационные модели развития магистрального транспорта, реализации крупных транспортных проектов.

Сети Петри, нечеткие множества.

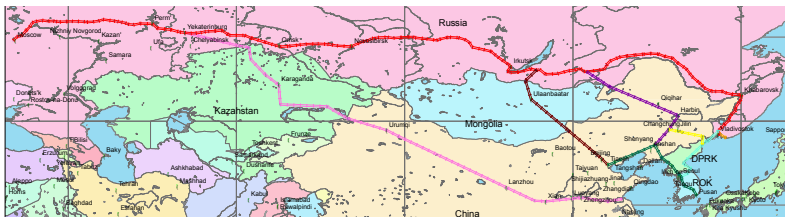
## Мировые ориентиры

- FNEM (Freight Network Equilibrium Model):  
Crainic, T.G., Florian, M., Gue'lat, J. *A multimode multiproduct network assignment model for strategic planning of freight flows* Transportation Science, 1990, 24(1), 25-39.  
Crainic, T.G., Florian, M., Le'al, J.E. (1990) *A model for the strategic planning of national freight transportation by rail*, Transportation Science, 1990, 24(1), 1-24.
- STAN (Strategic Transportation Analysis)  
Friesz, T.L., Gottfried, J.A., Morlok E.K. *A sequential shipper-carrier network model for predicting freight flows*, Transportation Science, 1986, 20(2), 80-91.
- FORTS (strategic model of Freight Operations for Rail Transportation Systems)  
Fernandez J.E., De Cea J., Ricardo G. *A strategic model of freight operations for rail transportation systems* Transportation Planning and Technology, 2004, 27(4), 231-260



## Транспортные коридоры Азия-Европа проекта TAR

# Северные транспортные коридоры Азия-Европа проекта TAR



Название коридора	Пункт назначения	Длина (км)	Поток (тыс. TEU)
Route1	Находка Восточная	9337	28.3
Route2	Линьюнган (Lyanungang)	7643	2
Route3	Тяньцзинь (Tiantzin)	7394	1.3
Route4v1	Пусан (Pusan)	9080	1
Route4v2	Пусан (Pusan)	10472	2.1
Route4v3	Пусан (Pusan)	9016	1
Route5v1	Раджин (Rajin)	9388	2.1
Route5v2	Раджин (Rajin)	8237	2.7



Подробности коридоров 4,5.



Route4:

- v1: Pusan-Shenyang-Zaudinski-Moscow
- v2: Pusan-Ussuriisk-Moscow
- v3: Pusan-Shenyang-Moscow

Route5:

- v1: Rajin-Ussuriisk-Moscow
- v2: Rajin-Harbin-Moscow



### Основные положения:

- Пользователи транспортной сети — это независимые экономические агенты, не образующие коалиций;
- Влияние отдельного агента на ситуацию в транспортной сети пренебрежимо мало;
- Каждый агент имеет единственную цель — уменьшить свои временные или иные затраты на перевозку;
- Перевозится однородный, бесконечно делимый продукт;
- Объемы перевозок между начальными и конечными пунктами передвижения грузов известны;

Пренебрегаем:

- Сортировочными операциями ( 75% времени для поездов в US );
- Балансом перемещений пустых и груженных вагонов;
- Вопросами расписаний движения поездов;
- Приоритетностями движений разных типов поездов и грузов;
- Многим и многим другим.

### Основные понятия:

- Сеть — граф, где  $V$  — станции,  $E$  — перегоны;
- Маршруты — последовательность станций  $v_0, v_1, \dots, v_l$ , где  $(v_i, v_{i+1}) \in E, i = 0, 1, \dots, l - 1$ ;
- Рынки — множества  $S \subset V$  и  $D \subset V$  мест производства и потребления товара;
- Корреспонденции —  $d_w, w \in W \subset S \times D$ , объемы продуктов, перевозимых из  $s$  в  $d$ , где  $(s, d) = w \in W$ .
- Неизвестные — потоковые  $x_p, p \in P$  или дуговые  $y_e, e \in E$  переменные;
- Затраты —  $\tau_p(\cdot), p \in P$  или  $\kappa_e(\cdot), e \in E$ .

### Равновесие

Используются только маршруты с наименьшей стоимостью при данной загрузке.

Обозначения:

- $x_p$  — объем перевозок по маршруту  $p$ ;
- $\tau_p(x)$  — время, затраченное на маршруте  $p$  при нагрузке сети  $x$ ;
- $\tau^w(x) = \min_{p \in P_w} \tau_p(x)$  — минимальное время при использовании маршрутов группы  $P_w$ ;

$\int^* / : \sin + \sqrt$

$$x_p(\tau_p(x) - \tau^w(x)) = 0, \quad p \in P_w, w \in W.$$

Предложена Yu.E. Nesterov, A. Palma (2003).

Основные предположения:

- Функция (мультифункция) затрат (задержки):

$$\tau_e(y) = \begin{cases} \bar{\tau} & \text{при } y < \bar{c}_e, \\ \geq \bar{\tau} & \text{при } y \geq \bar{c}_e, \end{cases}$$

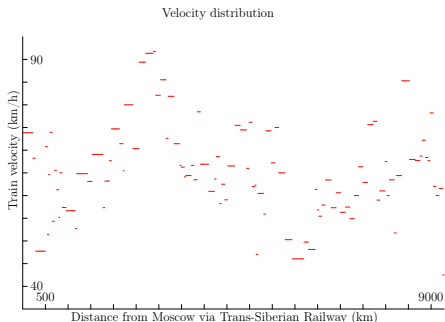
Равновесие — такое распределение потоков  $y_e$ ,  $e \in E$  по ребрам сети, что 1) выполнены балансы и законы сохранения трафика; 2) существуют  $t_e \in \tau_e(y_e)$ , что удельные затраты по реально используемым маршрутам одинаковы.

**Преимущества:** Равновесные потоки могут быть найдены как решение задачи линейного программирования

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{e \in E} \bar{\tau}_e y_e \\ \sum_{e \in In_v} y_e^s - \sum_{e \in Out_v} y_e^s &= \rho_{sv} \\ y_e - \sum_{e \in In_v} y_e^s &= 0, \\ s \in S, e \in E, v \in V. \end{aligned}$$

**Недостатки:** Потоки по маршрутам не определяются однозначно. ЛП-задача имеет значительную размерность.

# Разброс скоростей движения по Транссибу



- Модель конкурентного равновесия

$$t_e(y) = a_e y_e + b_e$$

- Модель стационарной динамики

$$t_{\min}^e = l_e / v_{\max}; c_{\max}^e = 1 / \Delta t.$$

# Модель стационарной динамики

Раздельные потоки:

- 1541 ограничений, 2328 переменных, 8004 ненулевых элементов;
- решение потребовало 1017 итераций и 16.1 Мб памяти (GNU Linear Programming Kit + AMPL).

Общий источник:

- 594 ограничения, 400 переменных, 1370 ненулевых элементов;
- Во всем диапазоне допустимых нагрузок поток шел через Владивосток-Находку.



# Заключение

Результаты работы:

- 1 Разработана графовая основа для потоковой модели северных транспортных коридоров проекта TAR;
- 2 Разработана модель общего равновесия с фиксированным спросом на перевозки для северных транспортных коридоров проекта TAR;
- 3 Разработана модель стационарной динамики для северных транспортных коридоров проекта TAR;
- 4 Проведены тестовые вычислительные эксперименты.

Выводы:

- 1 Проблемы перевозок проекта TAR лежат по всей видимости за пределами ДВФО;
- 2 Трансиб конкурентноспособен;
- 3 Модель нуждается в более полном наполнении данными по геометрии и пропускным характеристикам транспортных путей, входящих в TAR.