Вычислимая модель железнодорожных грузоперевозок с учётом коммуникационных ограничений

А.А.Шананин

МФТИ, 2014

Проблемы инфраструктурных отраслей

Государственная политика борьбы с инфляцией => Ограничение тарифов на услуги естественных монополий => Дефицит средств на модернизацию и обновление основных фондов => Выделение коммерческого сектора, привлечение инвесторов для обновления основных фондов в обмен на преференции в посреднической деятельности => Анализ результатов: упущенные доходы и неэффективность инвестиционной деятельности

Реформа сегодня

Завершен III и идет IV этап реформы на железнодорожном транспорте.

- Сформирован конкурентный рынок грузовых перевозок с частными операторами.
- Выделен машиностроительный сегмент, связанный с производством, ремонтом и обслуживанием продукции транспортного машиностроения.

Проблемы реформирования.

- Снижение общесистемной эффективности использования инфраструктуры.
- Снижение предложения вагонов для перевозки низко маржинальных грузов.
- Снижение доходов ОАО РЖД => уменьшение ресурсов для осуществления инвестиций

Стратегические вопросы.

- «Что есть та целевая функция, которую мы оптимизируем? В чем наша миссия?» Кирилл Андросов, председатель совета директоров РЖД.
- Роль РЖД как ведущего агента и регулятора: вагонный парк Федеральной грузовой компании, мониторинг эффективности использования инфраструктуры.
- Реализация крупных инвестиционных проектов: приоритеты, прогнозная эффективность, вопросы финансирования

Задачи анализа экономики ж/д грузоперевозок в условиях реформирования

- Исследование стратегических вопросов реформы при переходе от выполнения хозяйственных функций МПС по поддержанию экономических связей к интегрированию в рыночные отношения и усилению экономических стимулов ОАО РЖД
- Математическое моделирование - естественный язык для анализа
  - Спроса на ж/д грузоперевозки с учетом экономической конъюнктуры, в частности тарифов и инвестиций в развитие инфраструктуры
  - Сложившихся рыночных отношений, в частности несовершенной конкуренции и влияния на нее коммуникационных ограничений

Теоретические основы

- Концепция равновесия по Э.Линдалю в модели с общественными благами => обоснование дифференциации цен (перекрёстного субсидирования)
- Игры с иерархическим вектором интересов Гермейера – Вателя => условия существования устойчивого компромисса о финансировании инвестиций в общественные блага => манипулируемость

  Вывод: рыночные механизмы не способны сформировать экономическую среду, эффективно управляющую инфраструктурной отраслью. Теоретические модели плохо приспособлены для анализа практических проблем ж/д грузоперевозок.
- Метод потенциалов В.Л.Канторовича, А.М.Гавурина для анализа эффективности плана грузоперевозок => необходимость модификации в рыночных условиях, когда конечный спрос и предложение товаров зависят от цен.

Модифицированная транспортная задача

- Транспортная задача и метод потенциалов В.Л.Канторовича, А.М.Гавурина позволяет оптимизировать ж/д грузоперевозки в плановой (советской) экономике, но нуждается в модификации в условиях рыночной экономики
- Разработана модификация транспортной задачи, учитывающая зависимость конечного спроса и предложения товаров от цен (функции спроса и предложения товаров для перевозки).
- Для построения экономического равновесия предложен вариационный принцип в форме пары взаимно двойственных задач выпуклого программирования, одна из которых – модифицированная транспортная задача.

Обозначения модели

X_i^k - количество k -го товара, поступившее в пункт потребления $i \in I$

Y_j^k - количество k -го товара, вывезенное из пункта производства $j \in J$

$F_i\left(X_i^1,...,X_i^m\right)$ - доход от поступивших товаров

в пункте потребления $i \in I$

$G_j\left(Y_j^1,...,Y_j^m\right)$ - себестоимость производства товаров

в пункте производства $j \in J$

c_{ij}^k - затраты на перевозку k -го товара $j \Rightarrow i$

z_{ij}^k - объём перевозок k -го товара $j \Rightarrow i$

p_i^k - цена k -го товара в i -ом пункте потребления

$\hat{p}_j^k$ - цена k -го товара в j -ом пункте производства

Конкурентное равновесие в модели перевозок

Определение. *Будем говорить, что набор неотрицательных чисел*

$$\left\{ X_i^k, Y_j^k, z_{ij}^k, p_i^k, \hat{p}_j^k \,\middle|\, i \in I, j \in J, k \in K \right\}$$

является конкурентным равновесием в модели железнодорожных грузоперевозок, если

1) для любого $i \in I$

$$\left(X_i^1, ..., X_i^m \right) \in Arg\max \left\{ F_i\left(x_i^1, ..., x_i^m \right) - \sum_{k=1}^{m} p_i^k x_i^k \,\middle|\, \left(x_i^1, ..., x_i^m \right) \geq 0 \right\},$$

2) для любого $j \in J$

$$\left(Y_j^1, ..., Y_j^m \right) \in Arg\max \left\{ \sum_{k=1}^{m} \hat{p}_j^k y_j^k - G_j\left(y_j^1, ..., y_j^m \right) \,\middle|\, \left(y_j^1, ..., y_j^m \right) \geq 0 \right\},$$

3) для любых $i \in I$, $k \in K$ $X_i^k \leq \sum_{j \in J} z_{ij}^k$, $p_i^k \left(X_i^k - \sum_{j \in J} z_{ij}^k \right) = 0,$

4) для любых $j \in J$, $k \in K$ $Y_j^k \geq \sum_{i \in I} z_{ij}^k$, $\hat{p}_j^k \left(Y_j^k - \sum_{i \in I} z_{ij}^k \right) = 0,$

5) для любых $i \in I$, $j \in J$,

$$p_i^k \leq \hat{p}_j^k + c_{ij}^k, \;\; z_{ij}^k \geq 0, \;\; z_{ij}^k \left(\hat{p}_j^k + c_{ij}^k - p_i^k \right) = 0.$$

Задача грузоперевозок

$$\sum_{i\in I} F_i\left(X_i^1,\dots,X_i^m\right)-\sum_{j\in J} G_j\left(Y_j^1,\dots,Y_j^m\right)-\sum_{\substack{i\in I,\\ j\in J,\\ k\in K}} c_{ij}^k z_{ij}^k \to \max \quad (1.1)$$

$$X_i^k \le \sum_{j\in J} z_{ij}^k \quad \left(i\in I, k\in K\right), \qquad (1.2)$$

$$Y_j^k \ge \sum_{i\in I} z_{ij}^k \quad \left(j\in J, k\in K\right), \qquad (1.3)$$

$$z_{ij}^k \ge 0 \quad \left(i\in I, j\in J, k\in K\right). \qquad (1.4)$$

Функция прибыли i -го потребителя равна

$$\Pi_i\left(p_i^1,\dots,p_i^m\right)=\sup\left\{F_i\left(X_i^1,\dots,X_i^m\right)-\sum_{k\in K} p_i^k X_i^k \,\middle|\, \left(X_i^1,\dots,X_i^m\right)\ge 0\right\}.$$

Функция прибыли j -го производителя равна

$$\pi_j\left(\hat p_j^1,\dots,\hat p_j^m\right)=\sup\left\{\sum_{k\in K} \hat p_j^k Y_j^k - G_j\left(Y_j^1,\dots,Y_j^m\right) \,\middle|\, \left(Y_j^1,\dots,Y_j^m\right)\ge 0\right\}.$$

Двойственной по Фенхелю экстремальной задачей к задаче (1.1)-(1.4) является задача выпуклого программирования:

$$\sum_{i\in I} \Pi_i\left(p_i^1,\dots,p_i^m\right)+\sum_{j\in J} \pi_j\left(\hat p_j^1,\dots,\hat p_j^m\right)\to \min \qquad (1.5)$$

$$p_i^k \le \hat p_j^k + c_{ij}^k,\ p_i^k\ge 0, \hat p_j^k \ge 0 \ \left(i\in I, j\in J, k\in K\right) \qquad (1.6)$$

Теорема 1.

Для того, чтобы набор неотрицательных векторов

$$\left\{ X_i^k, Y_j^k, z_{ij}^k, p_i^k, \hat{p}_j^k \,\middle|\, i \in I, j \in J, k \in K \right\}$$

являлся конкурентным равновесием в модели железнодорожных грузоперевозок, необходимо и достаточно, чтобы набор $\left\{ X_i^k, Y_j^k, z_{ij}^k \,\middle|\, i \in I, j \in J, k \in K \right\}$ *являлся решением экстремальной задачи (1.1)- (1.4), а* $\left\{ p_i^k, \hat{p}_j^k \,\middle|\, i \in I, j \in J, k \in K \right\}$ *являлся решением двойственной задачи (1.5)-(1.6). При этом оптимальные значения функционалов в задачах (1.1)-(1.4) и (1.5)-(1.6) равны.*

Несовершенная конкуренция

Задача перевозчика

$$\Phi(c) = \sum_{k\in K, i\in I, j\in J} \left(c_{ij}^k - \tilde{c}_{ij}^k\right) z_{ij}^k(c) \to \max_{c_{ij}^k \ge \tilde{c}_{ij}^k} \qquad (2.1)$$

$$\Lambda\left(c_{ij}^k \,\middle|\, i\in I,\ j\in J, k\in K\right) = \min\left\{\sum_{i\in I} \Pi_i\left(p_i^1,\dots,p_i^m\right) + \sum_{j\in J} \pi_j\left(\hat{p}_j^1,\dots,\hat{p}_j^m\right) + \right.$$

$$\left. + \sum_{i\in I, j\in J, k\in K} \tau_{ij}^k\left(c_{ij}^k + \hat{p}_j^k - p_i^k\right) \middle| \, p_i^k \ge 0, \hat{p}_j^k \ge 0, \tau_{ij}^k \le 0 \ \left(i\in I, j\in J, k\in K\right)\right\}.$$

- Показатель общесистемных потерь

$$\theta = \frac{\Phi(c)}{\Lambda(\tilde{c}) - \Lambda(c)} \le 1.$$

Пример монопольный посредник.

Функция прибыли потребителя

$$F(X) = \begin{cases} bX + aX^2, \ \textit{если} \ X \le \hat{X}, \\ b\hat{X} + a\hat{X}^2, \ \textit{если} \ X > \hat{X}, \end{cases}$$

функция издержек производителя

$$G(Y) = \begin{cases} BY + AY^2, \ \textit{если} \ Y \le \hat{Y}, \\ +\infty, \qquad \textit{если} \ Y > \hat{Y}, \end{cases}$$

$$a < 0, A > 0, \ b > 0, B > 0, c > 0, \hat{X} > 0, \hat{Y} > 0, \quad \hat{X} \le -\frac{b}{2a}.$$

В примере $z = \dfrac{z(\tilde{c})}{2}, \theta = \dfrac{2}{3}.$

Олигополия Курно из n посредников: $z = \dfrac{nz(\tilde{c})}{n+1}, \theta = \dfrac{2n}{2n+1}.$

Модель с коммуникационными ограничениями

$$\sum_{i\in I} F_i\left(X_i^1,\dots,X_i^m\right)-\sum_{j\in J} G_j\left(Y_j^1,\dots,Y_j^m\right)-$$

$$-\sum_{i\in I,\, j\in J,k\in K}\left(\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}\tilde{t}_{\alpha\beta}+\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}\tilde{\lambda}_\alpha\right)z_{ij}^k\to\max \qquad (3.1)$$

$$X_i^k\le\sum_{j\in J} z_{ij}^k\quad\left(i\in I,k\in K\right), \qquad (3.2)$$

$$Y_j^k\ge\sum_{i\in I} z_{ij}^k\quad\left(j\in J,k\in K\right), \qquad (3.3)$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{\left\{i,j\,\middle|\,(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k\right\}} z_{ij}^k\le V_{\alpha\beta}\qquad \textit{для любых}\ \left(\alpha,\beta\right) \qquad (3.4)$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{\left\{i,j\,\middle|\,(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k\right\}} z_{ij}^k\le M_\alpha\qquad \textit{для любого}\ \alpha \qquad (3.5)$$

$$z_{ij}^k\ge 0\qquad\left(i\in I,\, j\in J,k\in K\right). \qquad (3.6)$$

Двойственная задача

$$\sum_{i\in I}\Pi_i\left(p_i^1,...,p_i^m\right)+\sum_{j\in J}\pi_j\left(\hat{p}_j^1,...,\hat{p}_j^m\right)+$$
$$+\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}t_{\alpha\beta}V_{\alpha\beta}+\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}\lambda_\alpha M_\alpha\to\min \qquad (3.7)$$

$$p_i^k\le\hat{p}_j^k+\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}\left(t_{\alpha\beta}+\tilde{t}_{\alpha\beta}\right)+\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}\left(\lambda_\alpha+\tilde{\lambda}_\alpha\right), \qquad (3.8)$$

$$p_i^k\ge 0,\ \hat{p}_j^k\ge 0,\ t_{\alpha\beta}\ge 0,\ \lambda_\alpha\ge 0$$
$$\left(i\in I,\ j\in J,k\in K,(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k\right) \qquad (3.9)$$

Конкурентное равновесие

Будем говорить, что набор неотрицательных чисел

$$\left\{ X_i^k, Y_j^k, z_{ij}^k, p_i^k, \hat{p}_j^k, t_{\alpha\beta}, \lambda_\alpha \,\middle|\, i \in I,\ j \in J, k \in K, (\alpha, \beta) \in \Gamma_{ij}^k \right\}$$

является конкурентным равновесием в модели железнодорожных грузоперевозок с коммуникационными ограничениями, если

1) *для любого* $i \in I$

$$\left(X_i^1, ..., X_i^m \right) \in Arg \max \left\{ F_i\left(x_i^1, ..., x_i^m \right) - \sum_{i=1}^{k} p_i^k x_i^k \,\middle|\, \left(x_i^1, ..., x_i^m \right) \geq 0 \right\},$$

2) *для любого* $j \in J$

$$\left(Y_j^1, ..., Y_j^m \right) \in Arg \max \left\{ \sum_{k=1}^{m} \hat{p}_j^k y_j^k - G_j\left(y_j^1, ..., y_j^m \right) \middle| \left(y_j^1, ..., y_j^m \right) \geq 0 \right\},$$

3) *для любых* $i \in I$, $k \in K$ $\quad X_i^k \leq \sum_{j \in J} z_{ij}^k,\ p_i^k \left(X_i^k - \sum_{j \in J} z_{ij}^k \right) = 0,$

4) *для любых* $j \in J$, $k \in K$ $\quad Y_j^k \geq \sum_{i \in I} z_{ij}^k,\ \hat{p}_j^k \left(Y_j^k - \sum_{i \in I} z_{ij}^k \right) = 0,$

5) *для любых* $i \in I$, $j \in J$, $k \in K$

$$p_i^k \le \hat{p}_j^k + \sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k} \left(t_{\alpha\beta} + \tilde{t}_{\alpha\beta}\right) + \sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k} \left(\lambda_\alpha + \tilde{\lambda}_\alpha\right),$$

$$z_{ij}^k \left(\hat{p}_j^k + \sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k} \left(t_{\alpha\beta} + \tilde{t}_{\alpha\beta}\right) + \sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k} \left(\lambda_\alpha + \tilde{\lambda}_\alpha\right) - p_i^k \right) = 0,$$

1) $z_{ij}^k \ge 0,$

6) *для любых* (α,β)

$$\sum_{k\in K} \sum_{\{i,j \mid (\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k\}} z_{ij}^k \le V_{\alpha\beta},\ t_{\alpha\beta} \left(\sum_{k\in K} \sum_{\{i,j \mid (\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k\}} z_{ij}^k - V_{\alpha\beta} \right) = 0,$$

7) *для любых* (α,β)

$$\sum_{k\in K} \sum_{\{i,j \mid (\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k\}} z_{ij}^k \le M_\alpha,\ \lambda_\alpha \left(\sum_{k\in K} \sum_{\{i,j \mid (\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k\}} z_{ij}^k - M_\alpha \right) = 0.$$

Теорема 2.

Для того, чтобы набор неотрицательных векторов

$$\left\{ X_i^k, Y_j^k, z_{ij}^k, p_i^k, \hat{p}_j^k, t_{\alpha\beta}, \lambda_\alpha \,\middle|\, i \in I, j \in J, k \in K, (\alpha, \beta) \in \Gamma_{ij}^k \right\}$$

являлся конкурентным равновесием в модели железнодорожных грузоперевозок с коммуникационными ограничениями, необходимо и достаточно, чтобы набор $\left\{ X_i^k, Y_j^k, z_{ij}^k \,\middle|\, i \in I, j \in J, k \in K \right\}$ *являлся решением экстремальной задачи (3.1)- (3.6), а*

$$\left\{ p_i^k, \hat{p}_j^k, t_{\alpha\beta}, \lambda_\alpha \,\middle|\, i \in I, j \in J, k \in K, (\alpha, \beta) \in \Gamma_{ij}^k \right\}$$

являлся решением двойственной задачи (3.7)-(3.9). При этом оптимальные значения функционалов в задачах (3.1)-(3.6) и (3.7)-(3.9) равны.

Распределение доходов

- Доход системы:

$$\sum_{i\in I} F_i\left(X_i^1,\dots,X_i^m\right)-\sum_{j\in J} G_j\left(Y_j^1,\dots,Y_j^m\right)$$

- Оплата услуг по железнодорожным грузоперевозкам:

$$\sum_{i\in I,\, j\in J, k\in K}\left(\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}\tilde{t}_{\alpha\beta}+\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}\tilde{\lambda}_\alpha\right)z_{ij}^k$$

- Посредническая прибыль:

$$\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k} t_{\alpha\beta}V_{\alpha\beta}+\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}\lambda_\alpha M_\alpha=\sum_{i\in I} F_i\left(X_i^1,\dots,X_i^m\right)-$$

$$-\sum_{j\in J} G_j\left(Y_j^1,\dots,Y_j^m\right)-\sum_{i\in I,\, j\in J, k\in K}\left(\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}\tilde{t}_{\alpha\beta}+\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}\tilde{\lambda}_\alpha\right)z_{ij}^k-$$

$$-\sum_{i\in I}\Pi_i\left(p_i^1,\dots,p_i^m\right)-\sum_{j\in J}\pi_j\left(\hat{p}_j^1,\dots,\hat{p}_j^m\right)=$$

$$=\sum_{i\in I,\, j\in J, k\in K}\left(\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}t_{\alpha\beta}+\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}\lambda_\alpha\right)z_{ij}^k$$

Обратная задача

Совместна ли система линейных соотношений?

$$\textit{Для любых}\left(\alpha,\beta\right)\in\Gamma_{ij}^{k},\ \left(i,j,k\right)\textit{таких, что}\ z_{ij}^{k}>0:$$

$$p_i^k-\hat{p}_j^k-\tilde{c}_{ij}^k=\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}t_{\alpha\beta}+\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}\lambda_\alpha,$$

$$\lambda_\alpha\geq 0, t_{\alpha\beta}\geq 0.$$

Выводы

- Ограничения пропускной способности увеличивают разрыв между ценами в пунктах производства и ценами в пунктах потребления и порождают посредническую прибыль.
- Ограничение на рост тарифов не позволяет системе железнодорожных грузоперевозок участвовать в извлечении посреднической прибыли и порождает недостаток финансовых средств на увеличения пропускной способности, модернизацию и обновление основных средств.
- Привлечение частных инвестиций в обмен на привилегии в извлечении посреднической прибыли не является «системным решением проблемы», поскольку увеличение пропускной способности железнодорожной сети приводит к уменьшению разницы между ценами в пунктах производства и потребления и уменьшает посредническую прибыль.
- Модельные примеры показывают, что максимизация посреднической прибыли может приводить к существенному сокращению объёмов производства и снижению эффективности грузовых потоков.
- В отличие от агентов, заинтересованных в извлечении посреднической прибыли, общество в целом (государство), а так же некоторые производители и потребители заинтересованы в увеличении пропускной способности грузоперевозок.

Некоторые возможности модели

- Классификация товарных сегментов пространственно распределенных рынков по степени конкурентности
  - влияние тарифов на эффективность рынков
- Анализ влияния тарифов на спрос на перевозки.
  - объемы перевозок, маршрут, экономика перевозки. Как влияют тарифы на коммуникационные ограничения?
- Анализ распределения доходов в системе
  - в частности связи коммуникационных ограничений с посреднической прибылью, возникающей из-за превышения цены в пункте потребления над ценой производства с учетом тарифа на транспортировку

Рынок зерна и его логистика

- Кластеризация пространственно распределенных рынков по однородности цен и объемам грузоперевозок
  – Детальное выделение узлов не позволяет построить устойчивые зависимости спроса и предложения от цен
- Анализ пространственно распределенных рынков зерна. Идентификация функций спроса упрощается в силу однородности цен в рамках каждого субъекта федерации (естественная кластеризация рынка)

Идентификация функции спроса для московского региона (г .Москва + область)

Спрос B разделяется на независящую от цены трендовую составляющую $\tilde{C}(t)$ и составляющую зависящую от цены p, которая дисконтируется на величину $\tilde{p}(t)$, которая отражает общую динамику цен.

Таким образом, функция спроса ищется в виде

$$B = \tilde{C}(t)\, f\left(\frac{p}{\tilde{p}(t)}\right)$$

При идентификации функции спроса происходит подбор зависящих от времени факторов $\tilde{C}(t)$, $\tilde{p}(t)$ и не зависящей от времени функции $f(\bullet)$.

Расчетные формулы

Обозначим через $p_m(t)$ средние цены по РФ, $\breve{C}(t)$ - ресурс (т.е. запас на начало года + урожай) по РФ в году t

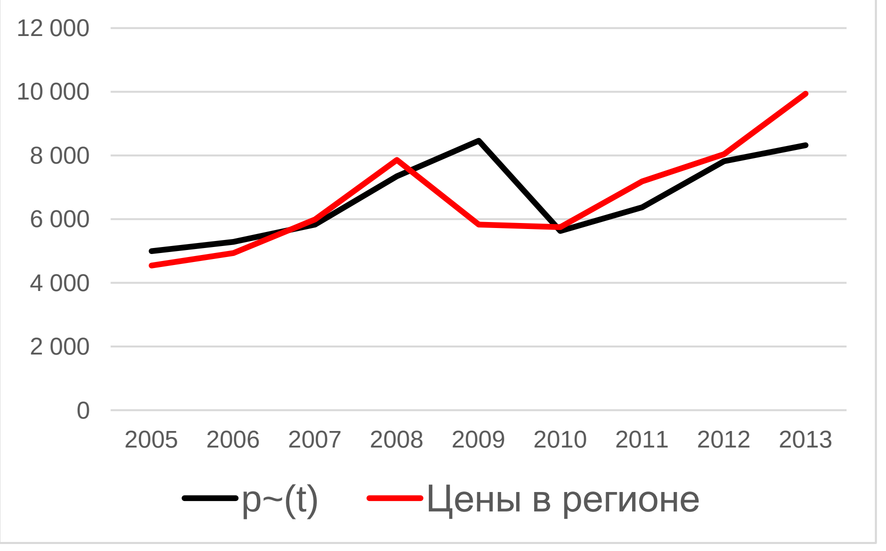
$$\ln\left(\frac{\tilde{p}(t+1)}{\tilde{p}(t)}\right)=a_1\ln\left(\frac{p_m(t+1)}{p_m(t)}\right)+a_2\ln\left(\frac{\breve{C}(t+1)}{\breve{C}(t)}\right)$$

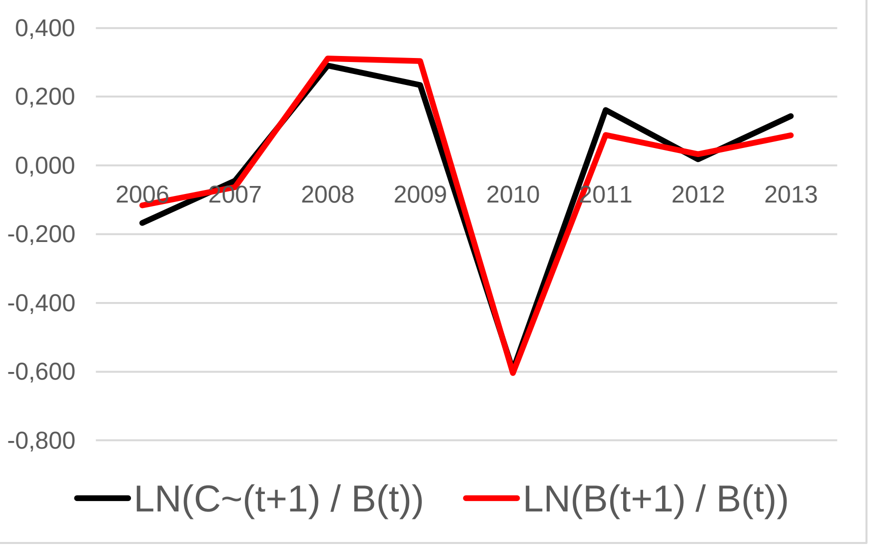
$$\ln\left(\frac{\tilde{C}(t+1)}{\tilde{C}(t)}\right)=b_1\ln\left(\frac{p(t)}{\tilde{p}(t)}\right)+b_2\ln\left(\frac{\tilde{C}(t)}{\bar{C}(t)}\right)+b_3\ln\left(\frac{V(t+1)}{V(t)}\right)$$

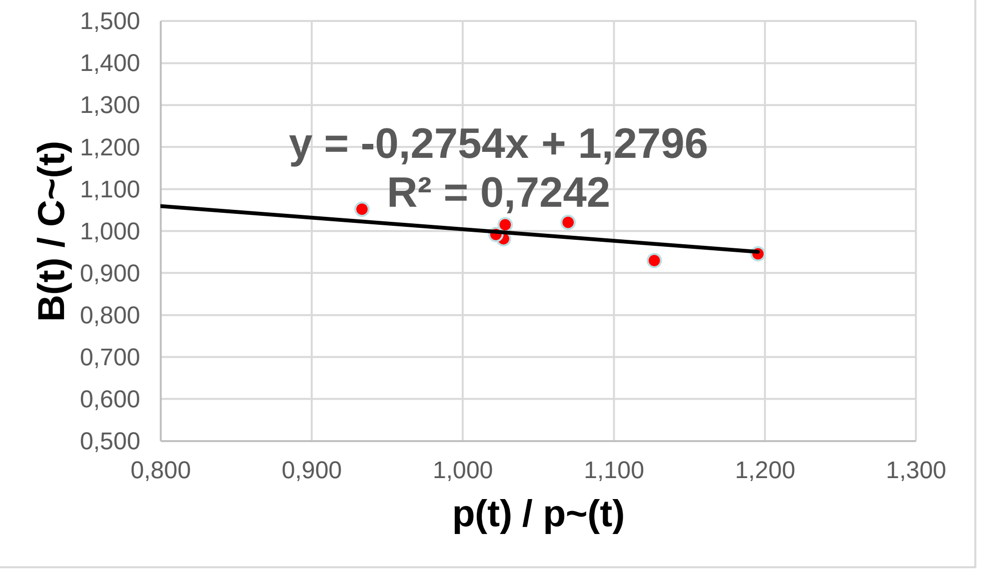
Здесь $\bar{C}(t)$ - значение логарифмически линейного тренда в ресурсе по РФ, $V(t)$ - объём производства в промышленности, использующей зерно (для расчётов использовались данные по производству в отрасли «производство пищевых продуктов, включая напитки»).

Данные Росстат (http://www.fedstat.ru/indicators/start.do)

Результаты


12 000
10 000
8 000
6 000
4 000
2 000
0
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
p~(t)
Цены в регионе


0,400
0,200
0,000
-0,200
-0,400
-0,600
-0,800
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
LN(C~(t+1) / B(t))
LN(B(t+1) / B(t))


y = -0,2754x + 1,2796
R² = 0,7242
1,500
1,400
1,300
1,200
1,100
1,000
0,900
0,800
0,700
0,600
0,500
0,800
0,900
1,000
1,100
1,200
1,300
B(t) / C~(t)
p(t) / p~(t)

Спасибо за внимание!

Этапы реформирования

- (2001-2003 гг.). Упразднено МПС, разделены функции госрегулирования и управления финансово-хозяйственной деятельностью, создано ОАО «РЖД»
- (2003-2005). Выделен бухучет ОАО «РЖД», Создано 27 дочерних обществ в сфере научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ, ремонта грузовых вагонов, капстроительства.
- (2005-2010). Предполагалось завершение реформирования отрасли.
- (2011 – 2015). Реформирование продолжается в рамках реализации IV этапа структурной реформы и Целевой модели рынка грузовых ж/д перевозок на период до 2015 г. Создан рынок оперирования грузовых вагонов. Парк грузовых вагонов полностью выведен из ОАО «РЖД». Созданы ОАО «ПГК», ОАО «ФГК» (ранее «ВГК»), другие дочерние общества.

Текущие результаты реформы

Положительные. В парк грузовых вагонов за 10 лет (2003-2013 гг.) привлечено около 600-700 млрд. руб. частных инвестиций. Приобретено более 400 тысяч вагонов. Ликвидирован их дефицит.

Отрицательные. Произошла разбалансировка управления парком, забились порожняком активные пути, вследствие чего стал наблюдаться профицит вагонов. Существенно ухудшились показатели сети перевозок (с 2007 по 2013 гг. оборот грузового вагона вырос на 5 суток, коэффициент сдвоенных операций снизился на 15%, скорость доставки грузов уменьшилась на 55 км/сут.).

Задачи для вычислимой модели

- Анализ влияния тарифов на загруженность «узких мест» транспортной сети
- В рамках инвестиционной программы РЖД реализуется ряд крупных инвестиционных проектов, ориентированных на промышленность:
  - реконструкция участка Междуреченск – Тайшет, для освоения перспективного грузопотока в первую очередь с Элегестского каменноугольного месторождения
  - реализация проекта развития железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона, связанного с политикой развития Дальнего востока и прогнозируемым увеличением товарооборотом с Китаем
  - реконструкция участка М.Горький - Котельниково - Тихорецкая – Крымская для обеспечения доставки грузов в порты Азово-Черноморского транспортного узла, использующихся для экспорта продукции
- Перспективы этих проектов, спрос на перевозки со стороны предприятий будет связан в первую очередь с рентабельностью их деятельности. Такую связку «экономика агента – спрос на перевозки» позволяет проанализировать предложенная модель
- Это позволит не только спрогнозировать изменение (как в объемном выражении так и логистическом) грузопотоков, но и может найти применение для
  - Прогнозирования экономического эффекта от инвестиционных проектов РЖД для регионов
  - Расчетов экономически обоснованных распределений капитальных затрат для реализации проектов, возможной стоимости выкупа построенных предприятиями частей инфраструктуры

Оптимизация маршрутов

Теорема 3. *Для того, чтобы конкурентное равновесие*

$$\left\{X_i^k, Y_j^k, z_{ij}^k, p_i^k, \hat{p}_j^k, t_{\alpha\beta}, \lambda_\alpha \,\middle|\, i \in I, j \in J, k \in K, (\alpha, \beta) \in \Gamma_{ij}^k\right\}$$

в модели железнодорожных грузоперевозок с коммуникационными ограничениями соответствовало паре взаимно двойственных задач (3.1)-(3.6) и (3.7)-(3.9) с оптимизацией в задаче (3.1)-(3.6) по выбору маршрутов грузоперевозок , необходимо, чтобы:

- *для любых пунктов производства и потребления , для которых существует грузоперевозка товара выполнялось неравенство (3.8)*
- *для любого маршрута грузоперевозки* $\tilde{\Gamma}_{ij}$ *из пункта производства* j *в пункт потребления* i *выполнялось неравенство:*

$$\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}\left(t_{\alpha\beta}+\tilde{t}_{\alpha\beta}\right)+\sum_{(\alpha,\beta)\in\Gamma_{ij}^k}\left(\lambda_\alpha+\tilde{\lambda}_\alpha\right)\le\sum_{(\tilde{\alpha},\tilde{\beta})\in\tilde{\Gamma}_{ij}}\left(t_{\tilde{\alpha}\tilde{\beta}}+\tilde{t}_{\tilde{\alpha}\tilde{\beta}}\right)+\sum_{(\tilde{\alpha},\tilde{\beta})\in\tilde{\Gamma}_{ij}}\left(\lambda_{\tilde{\alpha}}+\tilde{\lambda}_{\tilde{\alpha}}\right)$$

и достаточно, чтобы для любых маршрутов грузоперевозок

$\left\{\Gamma_{ij}^k \,\middle|\, i \in I, j \in J, k \in K\right\}$ *выполнялось неравенство (3.8).*