

## **АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТОВ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ**

**Пашков Н.Н., Шапкин И.Н.**

*Российский университет транспорта (МИИТ),*

*Россия, г. Москва, ул. Образцова, д.9, стр.9*

*[pashkovnn@gmail.com](mailto:pashkovnn@gmail.com), [shapkin05@mail.ru](mailto:shapkin05@mail.ru)*

*Аннотация: В работе рассматривается алгебраический метод многокритериальной экспертизы проектов развития транспортных узлов в условиях роста грузовых потоков. Метод позволяет определить фактические и предельные значения ключевых показателей эффективности проектов.*

Ключевые слова: транспортный узел, многокритериальная задача, ключевые показатели эффективности, экспертиза.

## Введение

С технологической точки зрения, транспортная система России представляет собой множество технических средств и транспортных узлов, соединенных путями сообщения. Под транспортным узлом здесь понимается комплекс транспортных устройств в пункте стыка нескольких видов транспорта, совместно выполняющих перевозки грузов и пассажиров.

В транспортных узлах наиболее ярко проявляется ряд проблем взаимодействия конкурирующих видов транспорта. С целью сбалансированного развития разных видов транспорта в интересах государства, необходима многосторонняя политика инвестиционного регулирования рынка транспортных услуг. Важнейшими направлениями такой политики являются ведомственные инвестиционные проекты, которые предусмотрены в государственной программе «Развитие транспортной системы» [1]. Процессная часть этих проектов в разделе научного обеспечения комплексного развития транспортных узлов предполагает экспертную оценку эффективности инвестиций на основе системы универсальных ключевых показателей работы транспорта.

## Ключевые показатели эффективности работы транспорта

Основанием для оценки эффективности инвестиций является нормативная база капиталов, задействованных в производстве транспортных услуг. Универсальная оценка тарифа на перевозку грузов, нормы доходности и прибыли, для различных видов транспорта, существенно различающихся по структуре и стоимости активов, научно обоснована в работе [2]:

(1)

где:  $r_t$  – тариф на перевозку [руб/км];  $r_d$  – норма доходности [руб/т];  $r_p$  – норма прибыли [руб/т];  $m$  – масса груза [т];  $L$  – расстояние перевозки груза [км];  $q$  – удельный грузопоток [т/км].

Удельный грузопоток – комплексный технологический параметр, который характеризует эксплуатационную нагрузку сети дорог с учетом специфики вида транспорта. Такая оценка эффективности проекта даёт прозрачное обоснование затрат на перевозку грузов, и может служить универсальным критерием для экономического сравнения инвестиций в разные виды транспорта в разных регионах, способствуя оптимальному решению многогранной проблемы развития транспортных систем в условиях противоположных интересов всех участников перевозочного процесса.

## Постановка задачи экспертизы проектов

На эффективность транспортных систем объективно влияют следующие факторы: пропускная способность участков транспортной сети, провозная способность подвижного состава, нестабильность размеров грузовых потоков, интервальная неопределенность корреспонденций грузов, нерегулярность предъявления грузов к перевозке [3].

Задача оценки предельной эффективности транспортной системы, в таких условиях, заключается в определении максимальных потоков подвижного состава с разной провозной способностью по участкам дорог с разной пропускной способностью.

Для формальной постановки задачи введем обозначения основных параметров организации грузовой работы: длина участка  $s_{ij}$ ; число транспортных средств на участке от пункта  $i$  до пункта  $j$ ; производительность грузовых фронтов терминалов транспортных узлов; участковые скорости на участках; интервалы движения подвижного состава на участках. Остальные параметры представим в виде матриц.

Прямоугольная матрица пробега  $A$  подвижного состава по участкам  $(i, j)$ :

$$(2) \quad \left\{ \begin{array}{cc} & \overline{1, m} \\ \overline{1, n} & \end{array} \right\}.$$

Матрица размеров  $X$  транспортных потоков  $j$ :

$$(3) \quad X = \{x_{ij}; i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}\}.$$

Матрица расстояний  $S$  длин участков  $s_{ij}$ :

$$(4) \quad \{s_{ij}; i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}\}.$$

Матрица  $C$  удельных целевых показателей  $c_{ij}$ :

$$(5) \quad \{c_{ij}; i = \overline{1, l}, j = \overline{1, n}\},$$

где  $n$  – число участков,  $l$  – число целевых показателей грузовой работы,  $c_{ij}$  – удельные целевые показатели. Здесь предполагается, что для разных участков значения удельных целевых показателей могут различаться в зависимости от характеристик пути, подвижного состава и груза.

Матрица  $B$  ёмкости грузовых фронтов терминалов:

$$(6) \quad B = \left\{ \frac{\omega_{ij}}{m_{ij}} I_{ij}; i = \overline{1, f}, j = \overline{1, n} \right\},$$

где  $f$  – число грузовых фронтов терминалов.

Матрица  $G$  заявленных к перевозке объемов груза  $g_{ij}$ :

$$(7) \quad G = \{g_{ij}; i = \overline{1, k}, j = \overline{1, n}\}$$

### Математическая модель многокритериальной линейной задачи

В принятых обозначениях, математическая формулировка многокритериальной задачи экспертизы состоит в следующем:

найти

$$(8) \quad F = \max_x CX,$$

при условиях:

$$(9) \quad AX \leq S,$$

$$(10) \quad BX \geq G,$$

$$(11) \quad X \geq 0.$$

где:  $F = \{f_{ij}; i = \overline{1, l}, j = \overline{1, m}\}$  – матрица целевых функций, максимальные значения которых являются критериями оценки эффективности транспортной системы.

### Решение многокритериальной линейной задачи

Точное численное значение максимальных транспортных потоков  $X_{\max}$  дает алгебраический метод решения [4] многокритериальной линейной задачи (8) – (11):

$$(12) \quad X_{\max} = A^+S,$$

где:  $A^+$  - матрица, псевдообратная матрице  $A$ .

Максимальное решение  $X_{\max}$  (12) позволяет вычислить, по формулам (8) и (10), максимальные значения целевых функций:

$$(13) \quad F_{\max} = CA^+S,$$

и максимальные размеры грузовых потоков на участках транспортной сети:

$$(14) \quad G_{\max} = BA^+S.$$

Отклонение фактических показателей относительно расчетных максимальных  $X_{\max}$ ,  $G_{\max}$  и  $F_{\max}$ , характеризует величину резерва мощности транспортной системы.

В качестве примера применения аналитического метода многокритериальной экспертизы проектов, приведем результаты исследования [5, 6] максимальной пропускной способности Малого окружного кольца (МОК) Московского железнодорожного узла (МЖУ) [7].

Для исследования МОК МЖУ условно разделено в четном направлении на пять участков: Перово – Черкизово – Белокаменная – Владыкино – Лихоборы – Пресня. Характеристики участков приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики участков МОК МЖУ

Участок	Длина $s_{ij}$ , км	Участковая скорость $v_{ij}$ , км/час	Число вагонов в составе $m_{ij}$
L <sub>1</sub>	6,8	38	45
L <sub>2</sub>	6,4	39	55
L <sub>3</sub>	6,2	37	60
L <sub>4</sub>	16,6	39	65
L <sub>5</sub>	18	40	50

Результаты расчетов максимальной пропускной способности  $X_{\max}$  для разных интервалов движения поездов  $I_{ij}$ , представлены графиком на рисунке 1.

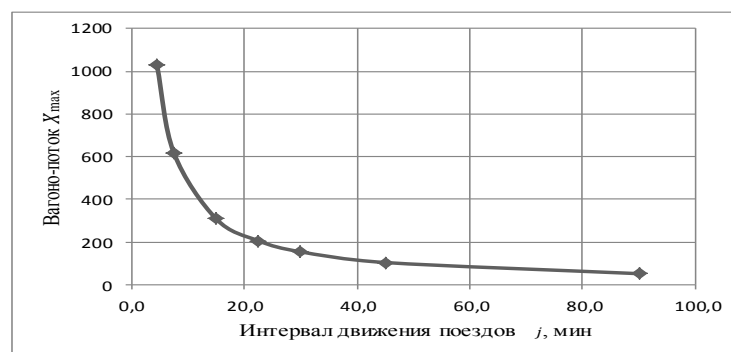


Рис. 1. График функции на МОК МЖУ

Таким образом, алгебраический метод позволяет аналитически решать задачи многокритериальной оценки эффективности действующих транспортных систем, экспертизы проектов их развития или инновации.

### Литература

1. Паспорт Государственной программы Российской Федерации "Развитие транспортной системы" [Электронный ресурс]: Консорциум Кодекс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499091761> (дата обращения 19.02.2019).
2. Akhmadiev V.V., Pashkov N.N. Economic assessment of transport logistics in international traffic [Text]: Applied and Fundamental Studies / Proceedings of the 4th International Academic Conference. November 29-30, 2013. – St. Louis, Missouri, USA: Publishing House Science and Innovation Center. V2. 2013. – P. 154-156. – ISBN 978-0-615-67126-0.
3. Кузнецов, А. П. Методологические основы управления грузовыми перевозками в транспортных системах. – М.: ВИНТИ РАН, 2002. – 276 с.
4. Пашков, Н.Н. Алгебраический метод решения линейной многокритериальной задачи [Текст]: Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014, № 1 (41). – С. 64-69.
5. Шапкин И.Н., Вдовин А.Н. [Применение имитационных моделей и инструментов бизнес-анализа в технологии оперативного планирования и управления поездной работой сети железных дорог](#) [Текст]: Бюллетень транспортной информации. – 2012, № 10. – С. 14-20.
6. Пашков, Н.Н. Многокритериальная задача оптимизации календарного плана формирования поездов [Текст]: Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом / Материалы Международной научно-практической конференции МГУПС (МИИТ), Москва, 16-17 октября 2014 года // Под общей ред. В.Н. Морозова и Ю.О. Пазойского. – М.: ВИНТИ РАН, 2015. – С. 44-46.
7. Актуализация Генеральной схемы развития Московского железнодорожного узла. ОАО «РЖД», 2014.– 110с.