

## УПРАВЛЕНИЕ И ЛОГИСТИКА НА ТРАНСПОРТЕ

УДК 656.078

DOI 10.46973/0201-727X\_2025\_1\_69

*И. С. Выскребенцев, М. Б. Петров***ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК РЕГИОНА  
В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**Аннотация.** Настоящее исследование является продолжением предшествующих работ авторов и направлено на оценку потребности региона в развитии транспортной инфраструктуры и прогнозирование объема перевозок в условиях ее дефицита.

Приведена графоаналитическая модель взаимодействия транспортной инфраструктуры и отраслей хозяйства региона и описаны основные принципы прогнозирования грузовых перевозок региона и оценки дефицитности инфраструктуры.

Представлены результаты прогнозирования величины транспортного спроса отдельного региона и определен момент возникновения дефицита транспортной инфраструктуры.

Разработана методика прогнозирования погрузки региона при приоритетном доступе отраслей к транспортной инфраструктуре в условиях ее дефицита. Определена величина потерь экономики вследствие дефицита транспортной инфраструктуры региона при разных вариантах приоритетности отраслей.

**Ключевые слова:** прогнозирование, транспортная инфраструктура, транспортный спрос, дефицит инфраструктуры, приоритетный доступ к инфраструктуре.

**Для цитирования:** Выскребенцев, И. С. Прогнозирование грузовых перевозок региона в условиях дефицита транспортной инфраструктуры / И. С. Выскребенцев, М. Б. Петров // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 1. – С. 69–76. – DOI 10.46973/0201-727X\_2025\_1\_69.

**Введение**

В условиях современного рынка грузовые перевозки являются ключевым элементом логистической системы, обеспечивающей эффективное функционирование экономики. Наряду с увеличением спроса на транспортные услуги возникает проблема дефицита инфраструктуры, которая приводит к снижению эффективности перевозок и увеличению времени доставки грузов. В связи с этим опережающее развитие транспортной инфраструктуры в соответствии с потребностями отраслей хозяйства является необходимым условием экономического роста.

**Основная часть**

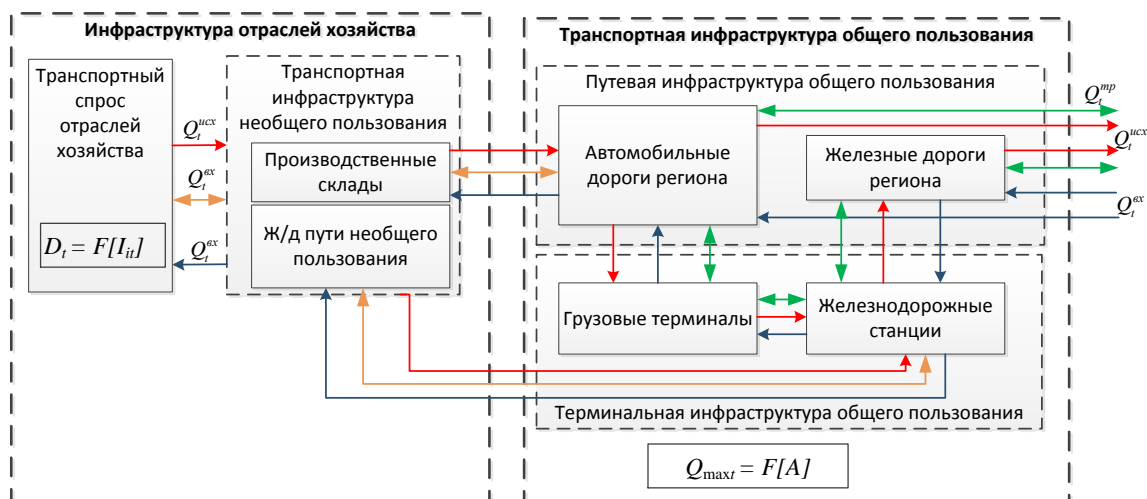
Настоящая работа является продолжением ранних исследований авторов [7–8] и направлена на оценку потребности региона в развитии транспортной инфраструктуры и прогнозирование объема перевозок в условиях возникновения ее дефицита.

В современных отечественных и зарубежных исследованиях используются различные методы прогнозирования транспортного спроса: методы экстраполяции тренда [1–3], экспертные методы [4–5], экономико-статистические методы [6–10], имитационное моделирование [11–13] и др.

В основе методики прогнозирования лежит графоаналитическая модель взаимодействия транспортной инфраструктуры и отраслей хозяйства региона.

В рамках поставленной задачи регион представляется как совокупность двух взаимосвязанных инфраструктур: инфраструктуры отраслей хозяйства региона (за исключением отрасли транспорта) и транспортной инфраструктуры региона (рис. 1).

Инфраструктура отраслей хозяйства выступает в роли потребителя транспортных услуг, генерирует и поглощает грузовой поток. Транспортная инфраструктура – поставщик транспортных услуг, обеспечивает перемещение этого грузового потока. То есть взаимодействие названных инфраструктур достигается через реализацию потокового процесса.



**Рис. 1. Графоаналитическая модель взаимодействия транспортной инфраструктуры и отраслей хозяйства региона**

Транспортная инфраструктура включает два компонента – путевую инфраструктуру, т. е. совокупность путей сообщения различных видов транспорта, представленных в регионе, и терминальную инфраструктуру – объекты грузопереработки и доступа к транспортным коммуникациям (железнодорожные станции, грузовые терминалы, логистические центры).

Ключевым параметром развития транспортной инфраструктуры как системы является ее мощность, т. е. максимальный объем грузопотока, который способна переработать система за единицу времени. Мощность инфраструктуры зависит от множества технических и технологических параметров, каждый из которых в разной степени влияет на результат.

Суммарный грузовой поток региона  $Q_t$  включает исходящий  $Q_t^{\text{исх}}$ , входящий  $Q_t^{\text{вх}}$ , транзитный  $Q_t^{\text{трп}}$  и внутренний грузовой потоки  $Q_t^{\text{вн}}$ . Каждый вид потока создает нагрузку на транспортную инфраструктуру и потребляет часть ее мощности. Мощность инфраструктуры представляет собой максимально возможный поток, который может быть переработан системой в единицу времени, обозначим эту величину как  $Q_{\text{max}t}$ . Мощность инфраструктуры зависит от множества параметров развития транспортной инфраструктуры региона: протяженности и состояния путей сообщения, густоты и качества автодорог, развития станций, грузового, терминального хозяйства и прочих. Запишем:  $Q_{\text{max}t} = F[A]$ ,  $a \in A$ , где  $a$  – оценочные параметры развития инфраструктуры региона.

Величина исходящего потока определяется совокупными объемами производства в регионе, входящего – совокупным потреблением региона. Объем производства и потребления региона определяет транспортный спрос региона в грузовых перевозках, обозначим его  $D_t$ . Транспортный спрос может определяться на основе информации о развитии экономики региона, например, через индексы  $i$ -х отраслей производства в каждый момент  $t$   $I_{it}$ , то есть  $D_t = F[I_{it}]$ .

Очевидно, что полное удовлетворение потребности региона в развитии транспортной инфраструктуры достигается при условии, если величина транспортного спроса в единицу времени  $D_t$  не превышает мощности транспортной инфраструктуры  $Q_{\text{max}t}$ , то есть  $D_t \leq Q_{\text{max}t}$ . В этом случае величина суммарного грузового потока соответствует величине транспортного спроса  $Q_t = D_t$ . В противном случае величина грузового потока не превысит мощности инфраструктуры  $Q_t \leq Q_{\text{max}t}$ , а величина  $\Delta D_t = D_t - Q_t$  – неудовлетворенный спрос на грузовые перевозки. Отсюда следует:  $Q_t = \min(Q_{\text{max}t}; D_t)$ .

Оценивать мощность транспортной инфраструктуры региона  $Q_{\text{max}t}$  предлагается на основе комплекса показателей, которые отражают тот или иной аспект развития транспорта и напрямую влияют на удовлетворение потребностей в перемещениях. Авторская методика вычисления комплексного показателя развития транспортной инфраструктуры приведена в [1].

Прогнозирование транспортного спроса  $D_t$  предлагается на основе регрессионной модели, предложенной в [2]. Результирующей переменной модели является объем погрузки продукции региона на все виды транспорта, а факторной – выступает консолидированный индекс спроса на грузовые перевозки, полученный линейной сверткой индивидуальных индексов производства отраслей экономики ( $I_{it}$ ) с учетом весовых коэффициентов ( $w_i$ ). При этом индексы производства каждой отрасли заданы как

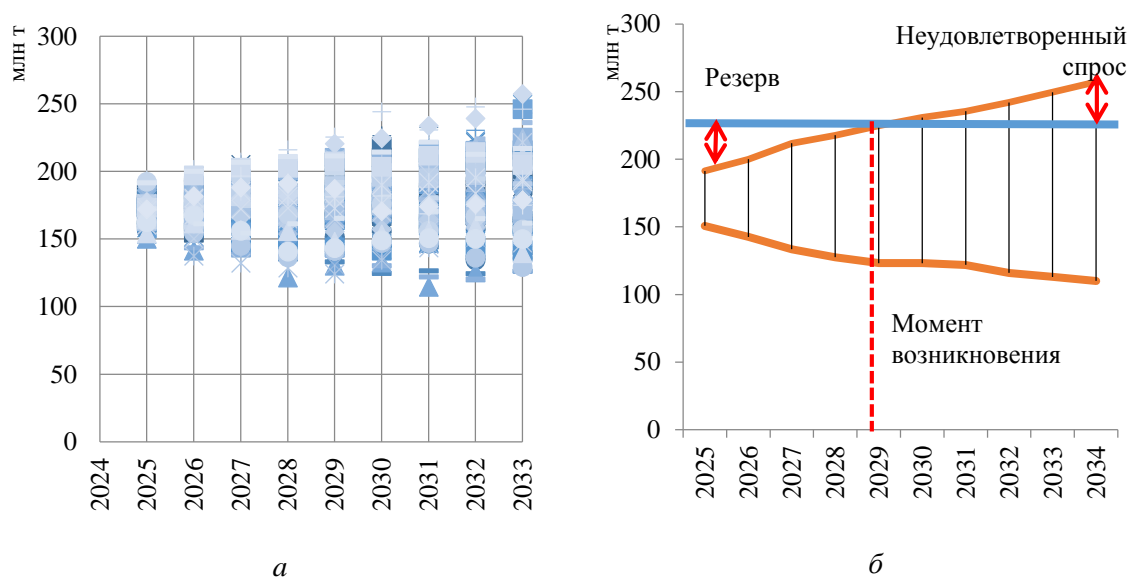
случайные величины с установленным законом распределения. Весовой коэффициент  $w_i$  рассчитывается по формуле:

$$w_i = \frac{a_i b_i}{\sum_{i=1}^N a_i b_i}, \quad (1)$$

где  $a_i$  – удельный вес отрасли в ВРП, позволяет учитывать различия в отраслевой структуре отдельных регионов;  $b_i$  – коэффициент транспортной зависимости отрасли, обоснованный в работе [2].

Объединение результатов моделирования [1] и [2] позволит прогнозировать точку возникновения дефицита транспортной инфраструктуры в заданном регионе.

Ниже приведены результаты численных экспериментов (рис. 2, а) и график потенциального транспортного спроса региона в сопоставлении с полученным значением уровня развития инфраструктуры (рис. 2, б) на примере Свердловской области.



**Рис. 2. Прогнозирование потребности региона в развитии транспортной инфраструктуры**

Апробация разработанных моделей на примере отдельного субъекта Федерации показала, что при благоприятном развитии экономики и неизменном уровне транспортной инфраструктуры к 2029 году возникнет острый дефицит инфраструктуры, что остановит рост погрузки и приведет к замедлению экономического развития региона.

На базе предложенной модели возможно также оценивать величину неудовлетворенного спроса на грузовые перевозки и потери экономики из-за дефицита инфраструктуры.

Совокупный неудовлетворенный спрос всех отраслей экономики в момент  $t$  составит  $\Delta D_t = D_t - Q_{\max}$  и будет нарастать со временем при неизменном уровне мощности инфраструктуры.

Величину неудовлетворенного спроса каждой отрасли при условии их равного доступа к инфраструктуре определим как  $\Delta D_{ti} = w_i \cdot (D_t - Q_{\max})$ .

При известной величине валовый региональный продукт (ВРП) региона в  $t$ -й период прогноза можем определить совокупные потери экономики вследствие дефицита транспортной инфраструктуры (при условии равного доступа отраслей к инфраструктуре):

$$\Delta \text{ВРП}_t = \text{ВРП}_t \cdot \left(1 - \frac{Q_{\max}}{D_t}\right). \quad (2)$$

Чтобы минимизировать экономические потери, выполнить социальные задачи или обеспечить национальные интересы, зачастую требуется установить приоритетность доступа к ограниченным транспортным ресурсам для различных отраслей экономики. При этом необходимо учесть транспортные потребности менее приоритетных сфер и удовлетворить их, но в меньшей степени по сравнению с более приоритетными отраслями.

Для этих целей авторы предлагают следующую методику.

Вводится параметр  $y_i$  – доля спроса  $i$ -й отрасли  $D_i$ , который способна удовлетворить транспортная система,  $y_i = f(r_i)$ , где  $r_i$  – приоритет доступа отрасли к транспортной инфраструктуре.

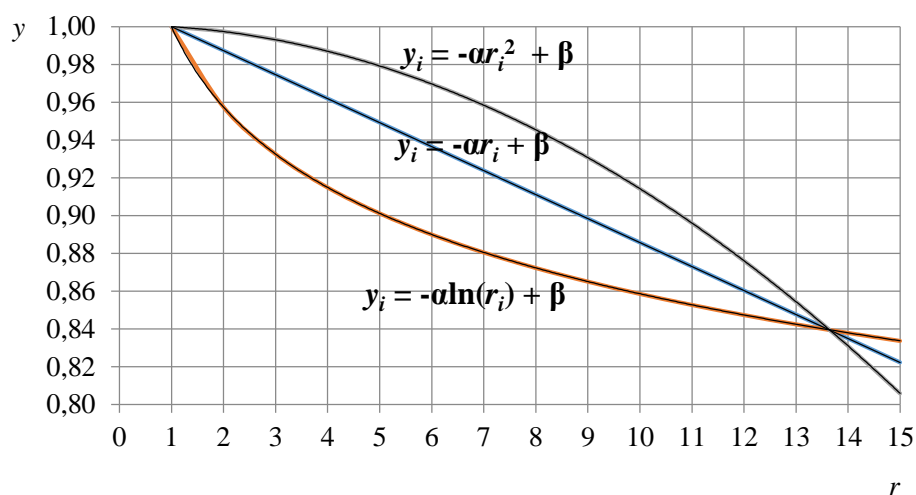
Величина  $r_i$  задается натуральными числами от 1 до  $N$ , где значение  $r_i = 1$  соответствует наиболее высокому приоритету отрасли. Зависимость параметра  $y_i$  от рейтинга отрасли  $r_i$  может иметь различную форму: линейную (3), логарифмическую (4) или параболическую (5):

$$y_i = -\alpha r + \beta; \quad (3)$$

$$y_i = -\alpha \ln(r) + \beta; \quad (4)$$

$$y_i = -\alpha r^2 + \beta. \quad (5)$$

Выбор формы зависимости определяется экспертно. Линейная зависимость обеспечивает равномерное снижение доли удовлетворенного спроса при уменьшении приоритетности отрасли, логарифмическая – усиливает различия между более и менее приоритетными отраслями, параболическая – их уменьшает. Отрицательное значение параметра функции  $\alpha$  объясняет обратный характер зависимости. Графически варианты описанных зависимостей доли удовлетворенного спроса отрасли  $y_i$  от ее рейтинга  $r_i$  представлены на рис. 3.



**Рис. 3. Варианты зависимости доли удовлетворенного спроса отрасли  $y_i$  от ее рейтинга  $r_i$**

Значение коэффициентов  $\alpha$ ,  $\beta$  зависит от отраслевой структуры погрузки (т. е. параметра  $w_i$ ), величины транспортного спроса региона ( $D$ ) и установленной мощности инфраструктуры региона ( $Q_{\max}$ ).

Для вычисления коэффициентов функции запишем уравнение:

$$Q_{\max} = D \sum_{i=1} w_i \cdot y_i, \quad (6)$$

где  $y_i$  определяется выбранной зависимостью (3)–(4).

При известных величинах  $Q_{\max}$ ,  $D$ ,  $w_i$  данные коэффициенты можем вычислить методом перебора с помощью доступных программных средств, например, с помощью модуля «Поиск решения» в MS Excel. При вычислении  $\alpha$ ,  $\beta$  также устанавливаются границы значений переменных от 0 до 1.

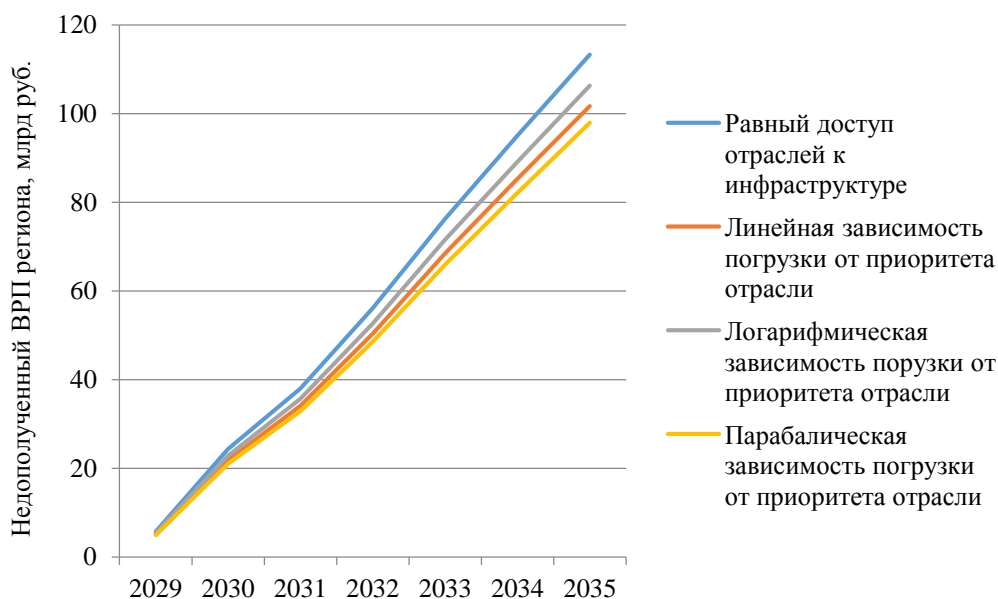
Апробируем методику для прогнозных данных, полученных ранее (см. рис. 1). Согласно прогнозу, на 2029 год приняты следующие значения  $Q_{\max} = 223$  млн т,  $D = 224,8$  млн т, то есть общий объем неудовлетворенного спроса составит 1,8 млн т. Значения коэффициентов  $w_i$  рассчитаны для отраслевой структуры Свердловской области. Параметр  $r_i$  задан в зависимости от грузоемкости отрасли в порядке возрастания коэффициента  $b$ , т. е. наивысший приоритет присвоен наименее транспортно-зависимым отраслям, грузы которых в основном относят к первому классу. На практике этот показатель может уточняться с учетом региональных и национальных интересов.

Прогноз погрузки региона в условиях дефицита выполнен для сценариев равного доступа отраслей к инфраструктуре и с учетом приоритета отдельных отраслей. Результаты расчета на 2029 год приведены в таблице.

## Прогнозирование погрузки региона в условиях дефицита транспортной инфраструктуры

Отрасль	Спрос, млн т	Приоритет отрасли	Погрузка отрасли при равном доступе к инфраструктуре, млн т	Погрузка отрасли при приоритетном доступе инфраструктуре, млн т		
				Линейная зависимость от приоритета	Логарифмическая зависимость от приоритета	Параболическая зависимость от приоритета
Сельское хозяйство	4,40	4	4,37	4,392	4,382	4,398
Добыча полезных ископаемых	3,76	10	3,73	3,735	3,730	3,741
Пищевая промышленность	5,34	9	5,29	5,310	5,301	5,319
Легкая промышленность	0,12	6	0,12	0,118	0,118	0,118
Обработка древесины и производство изделий из дерева	0,70	11	0,70	0,696	0,695	0,697
Целлюлозно-бумажное производство	0,29	5	0,29	0,289	0,289	0,290
Производство кокса, нефтепродуктов	0,63	1	0,63	0,634	0,634	0,634
Химическое производство	5,92	13	5,87	5,872	5,871	5,875
Производство резиновых и пластмассовых изделий	0,05	3	0,05	0,052	0,052	0,052
Производство прочих неметаллических минеральных продуктов	15,92	15	15,79	15,778	15,788	15,767
Металлургическое производство	175,26	14	173,86	173,799	173,826	173,777
Производство машин и оборудования	12,22	12	12,12	12,136	12,128	12,146
Производство электрооборудования	0,04	7	0,04	0,040	0,040	0,040
Производство транспортных средств	0,08	8	0,08	0,080	0,080	0,080
Прочие производства	0,07	2	0,07	0,068	0,068	0,068

На основе приведенной методики определены ожидаемые потери отрасли от дефицита транспортной инфраструктуры, выраженные в недополученном ВРП. Результат исследования приведен на рис. 4.



**Рис. 4. Прогнозирование потерь экономики региона при дефиците транспортной инфраструктуры, млрд руб.**

На основе проведенного исследования можем сделать следующие выводы:

- при неизменном уровне инфраструктуры нарастает объем неудовлетворенного транспортного спроса, что ведет к увеличению потерь экономики региона в виде недополученного ВВП;
- приоритетный доступ менее грузоемких отраслей к транспортной инфраструктуре в условиях ее дефицита позволяет снижать общие потери экономики;
- наименьшие потери экономики от дефицита транспортной инфраструктуре установлены при параболической зависимости доли удовлетворенного спроса от приоритетности отрасли.

#### **Выводы**

Таким образом, разработанные модели позволяют получить следующие результаты:

- 1) прогнозировать величину спроса на грузовые перевозки при различных сценариях развития экономики региона;
- 2) прогнозировать момент возникновения дефицита транспортной инфраструктуры и заблаговременно разрабатывать решения по ее развитию;
- 3) оценивать размер экономических потерь региона от дефицита транспортной инфраструктуры;
- 4) определять приоритетность погрузки продукции отдельных отраслей с целью снижения общей величины потерь экономики в условиях дефицита инфраструктуры.

#### **Список литературы**

- 1 **Изотов, О. А.** Прогнозирование перевозок грузов / О. А. Изотов // Системный анализ и логистика. – 2019. – № 4. – С. 12–19. – eISSN 2077-5687.
- 2 **Bulut, E.** Modeling seasonality using the fuzzy integrated logical forecasting (FILF) approach / E. Bulut // Expert Systems with Applications. – 2014. – Vol. 41, No. 4. – P. 1806–1812. – DOI 10.1057/mel.2012.9.
- 3 **Малашук, П. А.** Разработка и исследование моделей прогнозирования грузовых железнодорожных перевозок Европейской и Приуральской Арктики / П. А. Малашук // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития про-

#### **References**

- 1 **Izotov, O. A.** Forecasting of cargo transportation / O. A. Izotov // Systems analysis and logistics. – 2019. – No. 4. – P. 12–19. – eISSN 2077-5687.
- 2 **Bulut, E.** Modeling seasonality using the fuzzy integrated logical forecasting (FILF) approach / E. Bulut // Expert Systems with Applications. – 2014. – Vol. 41, No. 4. – P. 1806–1812. – DOI 10.1057/mel.2012.9.
- 3 **Malashchuk, P. A.** Development and study of forecasting models for freight rail transportation in the European and Ural Arctic / P. A. Malashchuk // Actual problems, directions and mechanisms for the development of productive forces of the North – 2022 : collection of articles of the VIII All-Russian

изводительных сил Севера – 2022 : сборник статей VIII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), 21–23 сентября 2022 г., Сыктывкар. В 2 ч. Ч. 2. – Иркутск : ООО «Максима», 2022. – С. 72–80. – ISBN 978-5-907643-20-8.

4 **Краковский, Ю. М.** Прогнозирование грузооборота дороги на основе статистической и экспертной информации / Ю. М. Краковский, И. А. Домбровский // Вестник стипендиатов DAAD. – 2013. – № 1. – С. 48–54. – ISSN 2218-1350.

5 **Краковский, Ю. М.** Обобщенное прогнозирование показателей грузовых перевозок железнодорожным транспортом на основе сценарного подхода / Ю. М. Краковский, Н. Н. Попова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3 (79). – С. 132–138. – DOI 10.46973/0201-727X\_2020\_3\_132.

6 **Петров, М. Б.** Новые подходы к прогнозированию в целях управления развитием больших систем территориальной инфраструктуры / М. Б. Петров, К. Б. Кожов // Инновационный транспорт. – 2017. – № 2. – С. 3–10. – DOI 10.20291/2311-164X-2017-2-3-10.

7 **Выскребенцев, И. С.** Методика оценки уровня развития транспортной инфраструктуры региона / И. С. Выскребенцев, М. Б. Петров // Транспорт Урала. – 2023. – № 3 (78). – С. 99–104. – DOI 10.20291/1815-9400-2023-3-99-104.

8 **Выскребенцев, И. С.** Методика прогнозирования спроса на грузовые перевозки / И. С. Выскребенцев, М. Б. Петров // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 4 (92). – С. 62–71. – DOI 10.46973/0201-727X\_2023\_4\_62.

scientific and practical conference (with international participation), September 21–23, 2022, Syktivkar. In 2 parts. Part 2. – Irkutsk : Maxima LLC, 2022. – P. 72–80. – ISBN 978-5-907643-20-8.

4 **Krakovsky, Yu. M.** Forecasting of road freight turnover based on statistical and expert information / Yu. M. Krakovsky, I. A. Dombrovsky // Bulletin of DAAD Fellows. – 2013. – No. 1. – P. 48–54. – ISSN 2218-1350.

5 **Krakovsky, Yu. M.** Generalized forecasting of indicators of freight transportation by rail based on a scenario approach / Yu. M. Krakovsky, N. N. Popova // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2020. – No. 3 (79). – P. 132–138. – DOI 10.46973/0201-727X\_2020\_3\_132.

6 **Petrov, M. B.** New approaches to forecasting for the purposes of managing the development of large territorial infrastructure systems / M. B. Petrov, K. B. Kozhov // Innovative transport. – 2017. – No. 2. – P. 3–10. – DOI 10.20291/2311-164X-2017-2-3-10.

7 **Vyskrebentsev, I. S.** Methodology for assessing the level of development of the transport infrastructure of the region / I. S. Vyskrebentsev, M. B. Petrov // Transport of the Urals. – 2023. – No. 3 (78). – P. 99–104. – DOI 10.20291/1815-9400-2023-3-99-104.

8 **Vyskrebentsev, I. S.** Methodology for forecasting demand for freight transportation / I. S. Vyskrebentsev, M. B. Petrov // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2023. – No. 4 (92). – P. 62–71. – DOI 10.46973/0201-727X\_2023\_4\_62.

*I. S. Vyskrebentsev, M. B. Petrov*

## FREIGHT TRANSPORTATION FORECASTING IN THE REGION IN CONDITIONS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE SHORTAGE

**Abstract.** This study is a continuation of the previous works of the authors and is aimed at assessing the region's needs for the development of transport infrastructure and forecasting the volume of traffic in conditions of its shortage.

A graphical-analytical model of the interaction between the transport infrastructure and the economic sectors of the region is presented and the basic principles of forecasting freight transportation in the region and assessing infrastructure shortages are described. The results of forecasting the value of transport demand in a particular region are presented and the moment of occurrence of a shortage of transport infrastructure is determined. A methodology for predicting the loading of a region with priority industry access to transport infrastructure in conditions of its scarcity is developed. The magnitude of economic losses due to the shortage of transport infrastructure in the region is determined with different options for prioritizing industries.

**Keywords:** forecasting, transport infrastructure, transport demand, infrastructure shortage, priority access to infrastructure.

**For citation:** Vyskrebentsev, I. S. Freight transportation forecasting in the region in conditions of transport infrastructure shortage / I. S. Vyskrebentsev, M. B. Petrov // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2025. – No. 1. – P. 69–76. – DOI 10.46973/0201-727X\_2025\_1\_69.

#### Сведения об авторах

**Выскребенцев Иван Сергеевич**

Уральский государственный университет  
путей сообщения (УрГУПС),  
аспирант,  
e-mail: IVyskrebentsev@mail.ru

**Петров Михаил Борисович**

Уральский государственный университет  
путей сообщения (УрГУПС),  
кафедра «Экономика транспорта»,  
доктор технических наук, профессор,  
руководитель Центра развития  
и размещения производительных сил  
Института экономики УрО РАН,  
e-mail: MPetrov@usurt.ru

#### Information about the authors

**Vyskrebentsev Ivan Sergeevich**

Ural State University of Railway Transport  
(USURT),  
Postgraduate Student,  
e-mail: IVyskrebentsev@mail.ru

**Petrov Mikhail Borisovich**

Ural State University of Railway Transport  
(USURT),  
Chair “Transport Economics”,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Head of the Center for Development  
and Distribution of Productive Forces of  
the Institute of Economics of the Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences,  
e-mail: MPetrov@usurt.ru