

ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

УДК 625.033.34

Исследование риска выполнения планового показателя грузооборота железнодорожным транспортом в условиях развития пандемии

П. В. Герасименко, Г. А. Ураев

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Герасименко П. В., Ураев Г. А. Исследование риска выполнения планового показателя грузооборота железнодорожным транспортом в условиях развития пандемии // Бюллетень результатов научных исследований. — 2022. — Вып. 1. — С. 7–16. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-1-7-16

Аннотация

Цель: Проведено оценивание риска выполнения плановых показателей грузооборота, для которого потребовалась реализация следующих основных этапов исследования: моделирование и верификация модели, модельное точечное и интервальное прогнозирование, анализ прогноза и оценивание риска. Математическая модель зависимости грузооборота от года транспортировки грузов железнодорожным транспортом построена по выборке статистических данных Росстата с 2009 по 2019 г. Верификация выполнена по результатам грузооборота 2020 г. Построение модели, верификация и прогнозирование осуществлены с помощью ППП Excel. **Методы:** В основу построения модели положен регрессионный анализ и метод наименьших квадратов. **Результаты:** Сравнение прогнозных и плановых значений грузооборота показали, что планы на 2021–2023 гг. находятся в пределах доверительного интервала и выполнимы с разной степенью риска, но имеют практически максимальный его уровень, т. е. являются достижимыми с низким уровнем вероятности. **Практическая значимость:** Планы на 2022 и 2023 гг. требуют доработки с учетом развития в стране пандемии, а следовательно, требуют возможного снижения их величины. Целесообразно прогнозные оценки регулярно уточнять по предлагаемой методике с учетом реального выполнения планов в 2021 г. и с учетом влияния на них проводимых в стране мер борьбы с пандемией коронавируса.

Ключевые слова: Моделирование, прогнозирование, оценивание, регрессия, коэффициент детерминации, точечная и интервальная оценка, риск.

В экономике государства важную роль играют грузоперевозки, поскольку обеспечивают не только работой разные отрасли, но и приносят существенный доход в бюджет государства. Удельный вес в основных производственных фондах страны составляет 27 %, а существенная доля транспортных услуг в валовом внутреннем продукте 8 %.

При оценке эффективности работы транспортных предприятий и всей транспортной системы одним из основных показателей выступает грузооборот. Под ним понимают объем работы при перевозке грузов, который вычисляют путем суммирования произведений массы в тоннах оттранспортированных грузов на расстояния их доставки в километрах. Своевременная доставка планируемых объемов груза любым видом транспорта играет огромную роль в формировании имиджа грузовых компаний, а соответственно, определяет число грузоотправителей, и в конечном итоге и прибыль.

Как известно, практическое достижение грузооборота не всегда завершается успешно, а сопровождается отклонениями от поставленных плановых его значений. В последние годы в связи с развитием пандемии и ответственными задачами, стоящими перед железной дорогой, возникает необходимость в текущем времени проводить оценку риска по решению задач.

К настоящему времени имеется большое число определений и методик решенных задач по оцениванию риска. Ряд подходов и определений оценивания показателей риска, в качестве которых выступает вероятность недостижения результата, показали свою относительно удовлетворительную эффективность при изучении локальных и, вообще говоря, простых объектов исследования. Достаточно подробно они изложены во многих публикациях, из числа которых следует отметить [1, 2].

Используя идеи работы [2] для определения риска выполнения плановых значений грузооборота по статистическим данным путем моделирования и прогнозирования, устанавливается доверительный интервал возможных его значений (рис. 1).

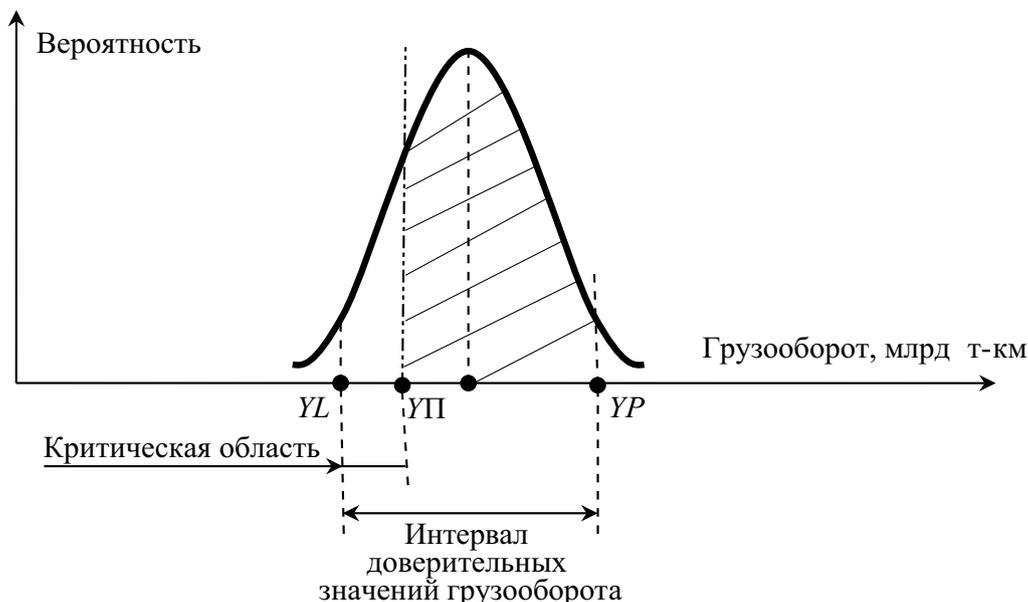


Рис. 1. Схема, поясняющая определение риска:
 YL — левая граница доверительного интервала; YP — правая граница;
 $УП$ — плановое значение грузооборота

Величина грузооборота рассматривается случайной, значения которой задаются в пределах спрогнозированного интервала, ограниченного левой и правой границами. Обосновав ее плотность распределения и зная положение планового показателя грузооборота относительно интервала, можно определить критическую область и вероятность (риск) недостижения запланированной величины. Таким образом, с учетом неопределенности протекания процесса достижения конечной цели прогнозный показатель грузооборота должен быть интервальным, а вероятность недостижения конечной цели следует считать мерой отклонения грузооборота от плановой величины.

Тогда, применительно к решаемой задаче, под риском понимается *субъективная характеристика меры отклонения планируемого показателя цели от показателя смоделированной в условиях неопределенности конечной цели, в виде прогнозного интервала, который строится, что может привести к различным уровням ошибки предсказания* [2].

Исходя из определения риска, методика вычисления вероятности невыполнения планов грузооборота будет включать следующие основные этапы:

- построение модели зависимости грузооборота от года доставки груза в виде аналитической функции регрессии;
- проверка качества модели с помощью погрешностей аппроксимации, коэффициента детерминации и статистической значимости функции регрессии;
- точечной и интервальной оценки прогнозной величины грузооборота в планируемый год;
- оценивание риска недостижения значений грузооборота в плановые годы.

В настоящее время железная дорога располагает огромными массивами статистических данных, которые позволяют осуществлять локальную оценку грузооборота и могут быть использованы для построения математической модели грузооборота в виде регрессионной функции от года перевозки грузов [3]. Количественные величины грузооборота, достигнутые железной дорогой ОАО «РЖД» за последние 12 лет, представлены в табл. 1 и на рис. 2.

ТАБЛИЦА 1. Динамика грузооборота ОАО «РЖД» за период 2009–2020 г. *, млрд т-км*

№ п. п.	1	2	3	4	5	6
Год	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Грузооборот	1865,3	2011,3	2127,8	2222,4	2196,6	2298,6
№ п. п.	7	8	9	10	11	12
Год	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Грузооборот	2306,0	2344,0	2492,6	2597,3	2601,1	2544,4

Источник: годовые отчеты ОАО «РЖД» за период 2010–2019 гг.



Рис. 2. Линейная модель динамики грузооборота на период 2009–2020 гг.

В качестве математического аппарата для моделирования представленных статистических данных в работе применена теория временных рядов и регрессионный анализ, в основе которых положен метод наименьших квадратов, а реализация отмеченного аппарата выполнена с помощью табличного процессора Excel [4]. С целью правомочности применения регрессионного анализа к временным рядам принято допущение, что ряды являются стационарными, соответственно, их свойства не зависят от момента времени [5]. Принятое допущение было обосновано на основании анализа коррелограмм, которые были построены по статистическим данным.

С помощью принятого математического аппарата, реализованного в Excel, были построены линейные и нелинейные модели. На рис. 2 представлен график линейной модели, ее аналитический вид, значения грузооборота по годам и коэффициент детерминации.

Кроме линейной функции регрессии в работе были построены и нелинейные. Сравнительная оценка качества моделей по коэффициенту детерминации и погрешностям аппроксимации позволила принять для дальнейшего исследования линейную модель, поскольку она обладает простотой, наименьшими погрешностями и высоким коэффициентом детерминации R^2 , который равен 0,9541.

Коэффициент свидетельствует, что связь между результатом применения модели (грузооборотом) и фактором, определяющим результат (год перевозки грузов) достаточно тесная и соответствует более 95,4 %. Была проведена оценка модели по фактическим данным и прогнозным (модельным) значениям с помощью

погрешностей аппроксимации за период 2009–2019 гг. Результаты расчетов показали: локальная относительная погрешность составила 1,76 %.

Проведенная оценка качества построенной модели с помощью критерия Фишера подтвердила ее достаточное хорошее качество: расчетное значение критерия Фишера $F_{\text{факт}} = 187,05$ существенно больше табличного $F_{0,95}(1; 9) = 5,12$.

Для верификации проведено сравнение опытного значения грузооборота и модельного прогнозируемого его значения на 2020 г. Ошибка составила полтора процента.

Таким образом, построенная модель (уравнение регрессии) позволяет использовать ее для прогнозных расчетов в предстоящие с 2021 по 2023 г. Для этого, если обозначить через T^* прогнозируемый год перевозки груза, то прогнозируемое ожидаемое значение грузооборота $\hat{Y}(T^*)$ можно определить по построенной функции регрессии. Такой прогноз считают точечным прогнозом, поскольку он прогнозирует точку на числовой оси грузооборота. Вместе с тем точечный прогноз несет в себе ошибку, так как грузооборот $Y(T)$ является случайной величиной.

Более корректным прогнозом является прогноз с использованием интервальной оценки грузооборота. В этом случае случайная составляющая дает возможность установить окрестность (доверительный интервал) точечной оценки, которая накроет с определенной вероятностью истинное значение результата. Для этого точечный расчет результирующей переменной $\hat{Y}(T^*)$ должен быть дополнен интервальной оценкой прогнозируемого значения, которая имеет вид:

$$YL(T) = \hat{Y}(T^*) - m_{Y(T^*)} \leq Y^* \leq \hat{Y}(T^*) + m_{Y(T^*)} = YP(T),$$

где Y^* — истинное значение результирующего показателя, которое станет известным после годовой транспортировки груза;

$m_{Y(T^*)}$ — предельная ошибка прогноза:

$$m_{Y(T^*)} = t_{1-\alpha, n-2} \cdot S_{Y(T^*)};$$

$t_{1-\alpha, n-2}$ — табличное значение t -распределения Стьюдента с $n - 2$ степенями свободы на уровне значимости $\alpha = 0,05$;

$S_{Y(T^*)}$ — оценка среднего квадратичного отклонения грузооборота (стандартная ошибка):

$$S_{Y(T^*)} = S_e \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(T - \bar{T})^2}{\sum_{k=1}^n (T - \bar{T})^2}};$$

\bar{T} — среднее значение года выборки;

S_e — остаточная дисперсия:

$$S_e = \frac{1}{n-2} \sum_{t=1}^n (Y_T - \hat{Y}(T))^2.$$

В табл. 2, на основании выполненных расчетов по приведенным соотношениям, представлены предельные значения доверительных интервалов и точечных прогнозных значений грузооборота по модели на 2020 и 2021 гг.

ТАБЛИЦА 2. Доверительные интервалы для прогнозных значений грузооборота на 2020 и 2023 гг., млрд т-км

Показатель	Год			
	2020	2021	2022	2023
Левая граница доверительного интервала $YL = \hat{Y}(T^*) - m_{Y(T^*)}$	2562,9	2629,1	2694,9	2760,3
Точечный прогноз	2685,9	2753,8	2821,7	2889,6
Верхняя граница доверительного интервала $YP = \hat{Y}(T^*) + m_{Y(T^*)}$	2808,9	2878,6	2948,6	3018,9

На рис. 3 дано графическое представление аппроксимации линейных функций регрессии и предельных значений (линий максимального и минимального значений) доверительного интервала.



Рис. 3. Опытные, плановые и граничные значения грузооборота

На рис. 3 нанесена часть опытных значений грузооборота, с 2016 по 2019 г., линия регрессии, плановые значения грузооборота с 2021 по 2023 г. и ограничительные линии интервального прогноза.

Как следует из принятого определения риска, он возникает тогда, когда существует неопределенность в описании достижения конечной цели — достижения планового значения грузооборота. В свою очередь, неопределенность возникает за счет отсутствия полной информации о доставке груза, а следовательно, необходимости замены точечного предсказания планового значения грузооборота интервалом его значений как случайной величины. В этом случае необходимо определять вероятность не достижения плановой величины грузооборота по той части значений интервала, где его величины имеют большее значение. Для решения этой задачи необходимо располагать законом распределения вероятности достижения величины грузооборота на доверительном интервале. В работе значения грузооборота как случайной величины в пределах интервала считаются распределенными по нормальному закону. Такое допущение возможно, так как случайность грузооборота определяется многочисленными факторами.

Для случая оценки вероятности достижения планового грузооборота в 2021 г. функция плотности вероятности величины грузооборота, распределенная по нормальному закону, примет следующие параметры: математическое ожидание, в качестве которого выступает точечный прогноз, равен $\hat{Y}_{2021} = 2753,8$ млрд т-км и среднеквадратическое отклонение, вычисленное как одна шестая длины интервала, $S_Y = 41,58$ млрд т-км. Тогда на 2021 г. плотность распределения вероятности примет вид:

$$f(Y) = \frac{1}{41,58 \cdot \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(Y - 2753,8)^2}{2 \cdot 41,58^2} \right].$$

Исходя из нормального закона распределения грузооборота, легко определить вероятность достижения плана по формуле:

$$\begin{aligned} P(Y \leq Y_{\text{пл}}) &= \int_{Y_{\text{пл}}}^{Y^P} \frac{1}{41,58 \cdot \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(Y - 2753,8)^2}{2 \cdot 41,58^2} \right] dY = \\ &= \frac{1}{41,58 \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{2802,2}^{2878,6} \exp \left[-\frac{(Y - 2753,8)^2}{2 \cdot 41,58^2} \right] dY = 0,26. \end{aligned}$$

Таким образом, вероятность достижения планового значения грузооборота составляет малую величину, равную 0,26. Достижение планового грузооборота в 2022 и 2023 гг. также маловероятно.

Библиографический список

1. Теория и практика управления рисками: монография / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. С. Г. Опарина. — СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. — 236 с.
2. Герасименко П. В. Теория оценивания риска / П. В. Герасименко. — СПб.: ПГУПС, 2015. — 51 с.
3. Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 г.: Распоряжение Правительства РФ от 19 марта 2019 г. № 466-р // Собрание законодательства Российской Федерации. — 25 марта 2019. — № 12.
4. Гайдаржи Г. Х. Математическому образованию — развивающую направленность / Г. Х. Гайдаржи, Е. Г. Шинкаренко, П. В. Герасименко // Проблемы математической и естественно-научной подготовки в инженерном образовании: сборник трудов IV Международной научно-методической конференции / Под ред. В. А. Ходаковского. — СПб.: ПГУПС, 2017. — С. 37–40.
5. Герасименко П. В. Введение в эконометрику: учебное пособие / П. В. Герасименко, В. А. Ходаковский. — СПб.: ПГУПС, 2005. — 57 с.

Дата поступления: 28.01.2022

Решение о публикации: 11.02.2022

Контактная информация:

ГЕРАСИМЕНКО Пётр Васильевич — д-р техн. наук, проф.; pv39@mail.ru

УРАЕВ Григорий Абунаимович — канд. экон. наук, доц.; uraev.ga@yandex.ru

Investigation of the risk of fulfilling the planned indicator of freight turnover by rail in the context of the development of a pandemic

P. V. Gerasimenko, G. A. Uraev

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Gerasimenko P. V., Uraev G. A. Investigation of the risk of fulfilling the planned indicator of freight turnover by rail in the context of the development of a pandemic. *Bulletin of scientific research results*, 2022, iss. 1, pp. 7–16. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2022-1-7-16

Summary

Objective: The risk assessment of fulfillment of planned cargo turnover indicators was carried out, the implementation of which required the following main stages of the study: modeling and verification of the model, model point and interval forecasting, forecast analysis and risk assessment. A mathematical model of the dependence of the turnover from year transportation of goods by rail is constructed for the sample statistics from Rosstat from 2009 to 2019. Verification was performed based on the results of cargo turnover in 2020. The construction of the model, verification and prediction were carried out using the Excel. **Methods:** The model is based on regression analysis and the method of least squares. **Results:** Comparison of forecast and planned values of cargo turnover showed that the plans for 2021–2023 are within the confidence interval and are feasible with varying degrees of risk, but have almost its maximum level, that is, they are achievable with a low level of probability. **Practical importance:** Plans for 2022 and 2023 need to be finalized taking into account the development of a pandemic in the country, and, therefore, require a possible reduction in their magnitude. It is advisable to regularly update forecast estimates according to the proposed methodology, taking into account the actual implementation of plans in 2021, taking into account the impact of measures taken in the country to combat the coronavirus pandemic on them.

Keywords: Modeling, forecasting, estimation, regression, coefficient of determination, point and interval assessment, risk.

References

- 1 *Teoriya i praktika upravleniya riskami* [Theory and practice of risk management]. St. Petersburg: POLITEKH-PRESS Publ., 2020. 236 p.
2. Gerasimenko P. V. *Teoriya ocenivaniya riska* [Theory of risk assessment]. St. Petersburg: Emperor Alexander I Petersburg State Transport University Publ., 2015. 51 p.
3. Dolgosrochnaya programma razvitiya otkrytogo akcionernogo obshchestva “Rossijskie zheleznye dorogi” do 2025 goda [Long-term development program of the Open Joint Stock Company “Russian Railways” until 2025]. *Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii* [Collection of legislation of the Russian Federation]. I. 12, 2019.
4. Gajdarzhi G. H. Matematicheskomu obrazovaniyu — razvivayushchuyu napravlennost' [Mathematical education — developing orientation]. *Problemy matematicheskoy i estestvenno-nauchnoj podgotovki v inzhenernom obrazovanii. Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii, Sankt-Peterburg, 03 noyabrya 2016 goda* [Problems of mathematical and natural science

training in engineering education: Proceedings of the IV International Scientific and Methodological Conference]. St. Petersburg: Emperor Alexander I Petersburg State Transport University Publ., 2017, pp. 37–40.

5. Gerasimenko P. V. *Vvedenie v ekonometriku* [Introduction to Econometrics]. St. Petersburg: Emperor Alexander I Petersburg State Transport University Publ., 2005. 57 p.

Received: January 28, 2022

Accepted: February 11, 2022

Author's information:

Petr V. GERASIMENKO — D. Sci. in Engineering, Professor; pv39@mail.ru

Grigory A. URAEV — PhD in Economic Sciences, Associate Professor; uraev@pgups.ru