

Ю. М. Краковский¹, Н. Н. Попова¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ МНОГОФАКТОРНЫХ И ФАКТОРНЫХ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Аннотация. Предложена технология создания многофакторных и факторных моделей показателей перевозочного процесса железнодорожным транспортом для обобщенного прогнозирования погрузки грузов на основе статистической и экспертной информации с учетом сценарного подхода. Обобщенное прогнозирование основано на трех значениях погрузки грузов с различными весами: а) значение, полученное по трехфакторной модели первого порядка; б) значение, полученное по факторной модели; в) точечное экспертное суждение. Весовые коэффициенты рекомендуется получать по методу анализа иерархий, использующего экспертные суждения. Получено двенадцать факторных моделей для погрузки грузов, для оборота вагонов, для участковой скорости, для производительности локомотива по данным перевозочного процесса на Дальневосточной железной дороге. Показана хорошая практическая адекватность полученных моделей.

Ключевые слова: погрузка грузов, регрессионный анализ, сценарный подход, экспертные оценки и суждения.

Y. M. Krakovsky¹, N. N. Popova¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

TECHNOLOGY FOR CREATING MULTIFACTOR AND FACTOR FORECAST MODELS OF INDICATORS OF THE TRANSPORTATION PROCESS BY RAIL

Abstract. The technology for creating multifactor and factor models of indicators of the transportation process by rail for generalized forecasting of cargo loading based on statistical and expert information, taking into account the scenario approach, is proposed. Generalized forecasting is based on three values of cargo loading with different weights: a) the value obtained by three-factor first-order model; b) the value obtained by factor model; c) point expert judgment. Weights are recommended to be obtained by the analytic hierarchy process using expert judgments. Twelve factor models for cargo loading, for wagon turnaround, for service speed, for locomotive productivity according to the data of transportation process on the Far Eastern Railway. Good practical adequacy of the obtained models is shown.

Keywords: cargo loading, regression analysis, scenario approach, expert assessments and judgments.

Введение

В последние годы с целью повышения эффективности перевозочного процесса железнодорожным транспортом в ОАО «РЖД» происходят изменения структуры и функций управления компанией. Важным компонентом здесь является внедрение комплексных полигонных технологий [13, 15]. Существенную роль при внедрении комплексных полигонных технологий играет повышение эффективности управленческих решений, включая вопросы прогнозирования показателей перевозочного процесса [3, 5, 13, 14].

Учитывая, что восточный полигон на востоке страны взаимодействует с железными дорогами других стран, следует учитывать и это при обеспечении высокой провозной способности. Здесь можно сослаться на работу [7], в которой обсуждаются вопросы интероперабельности перевозки грузов с учетом разной колеи железных дорог на погранпереходах смежных с нами стран, и на работу [10], в которой обсуждается вопросы совершенствования процессов организации движения поездов.

Таким образом, повышение провозной способности железнодорожной сети является важной задачей [12], требующей различных подходов для своего решения. Увеличение провозной способности железнодорожной сети связано с умением прогнозировать показатели перевозочного процесса железнодорожным транспортом [1 - 4].

Многофакторные и факторные модели для погрузки

Перевозочный процесс железнодорожным транспортом оценивается достаточно большим числом факторов в той или иной мере связанных статистической связью с погрузкой грузов (l , млн.т). Этими влияющими факторами на железнодорожном транспорте являются: x_1 – статическая нагрузка, т/ваг; x_2 – средний вес грузового поезда, т; x_3 – себестоимость (цена единицы перевезенного грузооборота), руб./млн.ткм; x_4 – оборот вагона, сут.; x_5 – простой местного вагона, час; x_6 – участковая скорость, км/час; x_7 – техническая скорость, км/час; x_8 – производительность локомотива, тыс.ткм/сут; x_9 – среднесуточный пробег локомотива, км/сут; x_{10} – грузооборот, млн.ткм.

В работах [8, 9] показано, что влияющие факторы существенно связаны между собой корреляционной связью, поэтому часть из них можно исключить. Используя коэффициенты парной корреляции [6], были оставлены только существенные из них, которых оказалось пять: ($x_1, x_4, x_6, x_8, x_{10}$)

Создав пятифакторную модель и используя t -статистику, были оставлены значимые факторы (x_4, x_6, x_8), а далее была получена адекватная трехфакторная модель первого порядка для погрузки, которая имеет вид

$$l_1 = 51,972 - 1,680 \cdot tw - 0,823 \cdot s + 0,022 \cdot p, \quad (1)$$

где tw – оборот вагона (x_4); s – участковая скорость (x_6); p – производительность локомотива (x_8). Значение F -статистики для модели (1) равно 19,3.

При использовании трехфакторной модели (1) предполагается, что значимые факторы изменяются в разумных для практики пределах.

Далее для погрузки была создана адекватная факторная модель на основе статистической информации с 2000 года по 2018 год

$$l_2 = 36,843 \cdot t^{0,106}, \quad (2)$$

где t – время ($t = 1, 2, \dots, 19$). Значение F -статистики для модели (2) равно 21,3.

Аналогично созданы адекватные факторные модели для значимых факторов

$$tw = 0,201 \cdot t + 5,594; \quad (3)$$

$$s = 0,012 \cdot t^3 - 0,409 \cdot t^2 + 3,892 \cdot t + 30,635; \quad (4)$$

$$p = 1206,100 \cdot t^{0,179}. \quad (5)$$

Значение F -статистики для модели (3) равно 11,2; для модели (4) – 15,7; для модели (5) – 123,1.

Создание факторных моделей с учетом экспертной информации

В работах [3, 4] показано, что перевозочный процесс железнодорожным транспортом функционирует в условиях неопределенности и риска, что влияет на оценку значений показателей и факторов в будущем.

В связи с этим, рекомендуется дополнительно к статистическим данным добавлять оценки практиков-экспертов в предметной области [2, 3]. В работе используются точечные экспертные оценки на прогнозируемый 2019 год по погрузке (l) и по значимым факторам (tw, s, p). Эти оценки приведены в таблице 1 для двух вариантов (В): оптимистического (1) и пессимистического (2).

Таблица 1

Значения экспертных оценок

В	l	tw	s	p
1	49,0	8,6	37,0	2000,0
2	48,0	8,2	36,0	1950,0

Оптимистический вариант предполагает увеличение значений погрузки, оборота вагона, участковой скорости и производительности локомотива по сравнению с предыдущим 2018 годом, а пессимистический – уменьшение или сохранение близких значений погрузки, оборота вагона, участковой скорости и производительности локомотива по сравнению с данными 2018 года. Отметим, что в 2018 году погрузка на ДВЖД равна 48,68 млн.т, оборот вагона равен 8,1 сут., участковая скорость равна 36,6 км/час, производительность локомотива равна 1994 тыс.ткм/сут.

Используя статистические данные по погрузке и значимым факторам, а также экспертные оценки (табл. 1), дополнительно к моделям (2)-(5) в работе созданы новые факторные модели.

Факторные модели при оптимистическом варианте (В1) имеют вид

$$l_2 = 36,965 \cdot t^{0,104}; \quad (6)$$

$$tw = 0,186 \cdot t + 5,695; \quad (7)$$

$$s = 0,011 \cdot t^3 - 0,403 \cdot t^2 + 3,853 \cdot t + 30,697; \quad (8)$$

$$p = 1209,800 \cdot t^{0,177}. \quad (9)$$

Значение F -статистики для модели (6) равно 22,8; для модели (7) – 11,6; для модели (8) – 16,9; для модели (9) – 133,8.

Факторные модели при пессимистическом варианте (В2) имеют вид

$$l_2 = 37,040 \cdot t^{0,103}; \quad (10)$$

$$tw = 0,181 \cdot t + 5,735; \quad (11)$$

$$s = 0,012 \cdot t^3 - 0,386 \cdot t^2 + 3,729 \cdot t + 30,897; \quad (12)$$

$$p = 1212,800 \cdot t^{0,175}. \quad (13)$$

Значение F -статистики для модели (10) равно 21,9; для модели (11) – 10,7; для модели (12) – 17,0; для модели (13) – 126,4.

Обобщенное прогнозирование погрузки на основе сценарного подхода

В работе получена трехфакторная модель для погрузки (1), а также созданы факторные модели при отсутствии и наличии точечных экспертных значений по двум вариантам: а) для погрузки (2), (6), (10); б) для оборота вагона (3), (7), (11); в) для участковой скорости (4), (8), (12); г) для производительности локомотива (5), (9), (13). Учитывая многообразие полученных моделей, можно при прогнозировании использовать сценарный подход.

Прогнозные модели и возможные сценарии развития перевозочного процесса предлагается использовать при обобщенном (комплексном) прогнозировании погрузки грузов по линейной свертке вида

$$l_c = \sum_{j=1}^3 w_j \cdot l_j, \quad (14)$$

где l_1 – прогнозное на 2019 год значение погрузки по выбранному сценарию с использованием трехфакторной модели; l_2 – прогнозное на 2019 год значение погрузки по факторной модели; l_3 – экспертное прогнозное значение по погрузке на 2019 год по выбранному сценарию; w_j – весовые коэффициенты, учитывающие значимость перечисленных прогнозных моделей и значений погрузки. Эти коэффициенты можно получить, используя метод анализа иерархий [11].

Заключение

Предложена технология создания многофакторных и факторных моделей показателей перевозочного процесса железнодорожным транспортом для обобщенного прогнозирования погрузки грузов на основе статистической и экспертной информации с учетом сценарного подхода. Обобщенное прогнозирование основано на трех значениях погрузки грузов с различными весами: а) значение, полученное по трехфакторной модели первого порядка; б)

значение, полученное по факторной модели; в) точечное экспертное суждение. Весовые коэффициенты рекомендуются получать по методу анализа иерархий, использующего экспертные суждения.

Получена трехфакторная модель для погрузки (1), а также созданы факторные модели при отсутствии и наличие точечных экспертных значений по двум вариантам: а) для погрузки (2), (6), (10); б) для оборота вагона (3), (7), (11); в) для участковой скорости (4), (8), (12); г) для производительности локомотива (5), (9), (13). Учитывая многообразие полученных моделей, предложено при обобщенном прогнозировании использовать сценарный подход.

Показана хорошая практическая адекватность полученных моделей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Давааням Тамир, Краковский Ю.М. Комплексное прогнозирование базовых показателей перевозочного процесса // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 3 (51). С. 179–184.

2. Краковский Ю.М., И.А. Домбровский Прогнозирование показателей грузовых перевозок Улан-Баторской железной дороги // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 4 (40). С. 225–228.

3. Краковский Ю.М., Каргапольцев С.К., Начигин В.А. Моделирование перевозочного процесса железнодорожным транспортом: анализ, прогнозирование, риски; [под ред. проф. Ю.М. Краковского]. Санкт-Петербург: «ЛИТЕО», 2018. 240 с.

4. Лузгин А.Н., Краковский Ю.М. Прогнозирование базовых показателей перевозочного процесса на основе сценарного подхода // Прикладная информатика. 2017. Том 12. № 2 (68). С. 29–36.

5. Начигин В.А., Фролов В.Ф. Процедура выбора предпочтительного сценария развития перевозочного процесса // Известия Транссиба. 2014. № 1. С. 109–115.

6. Носко В.П. Эконометрика. М: Издательский дом «Дело», РАНХиГС, 2011. Кн.1. 672 с.

7. Осьминин А.Т., Мехедов М.И., Медников Д.В. Обеспечение интероперабельности перевозок // Железнодорожный транспорт. 2019. № 7. С. 11–17.

8. Попова Н.Н., Краковский Ю.М. Многофакторное прогнозирование грузооборота по данным Дальневосточной железной дороги // Материалы Десятой Международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона». 2019. С. 337–341.

9. Попова Н.Н. Краковский Ю.М. Прогнозирование грузооборота с учетом факторных моделей // Актуальные вопросы аграрной науки. 2019. Вып. 32. С. 63–69.

10. Розенберг Е.Н., Аношкин В.В. Перспективы роста пропускной способности участков // Железнодорожный транспорт. 2020. № 3. С. 4–7.

11. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.

12. Сотников Е.А., Мехедов М.И., Холодняк П.С. Интенсификация роста загруженных направлений сети железнодорожных дорог // Железнодорожный транспорт. 2020. № 3. С. 11–14.

13. Федоров Ю.Н. Повышение эффективности управления холдингом «РЖД» за счет формирования оптимальной структуры органов регионального управления основной деятельностью // Экономика железных дорог. 2013. № 11. С. 41–46.

14. Фролов В.Ф. Новые подходы к управлению перевозочным процессом в условиях динамического изменения внешней среды // Железнодорожный транспорт. 2014. № 4. С. 14–18.

15. Maklygin N., Nachigin A., Krakovski Y. The Scenario Approach for Prediction of Indicators Transportation Process // The Fifth International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway (ISMR-2016). Nanchang, China, October 20-21, 2016. P. 620-623.

REFERENCES

1. Davaanyam Tamir, Krakovsky Y.M. Kompleksnoe prognozirovanie bazovykh pokazatelej perevoznochnogo processa [Integrated forecasting of the main of indicators of transportation process]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2016, No 3 (51), pp. 179–184.
2. Krakovsky Y.M., Dombrovsky I.A. Prognozirovanie pokazatelej gruzovykh perevozok Ulan-Batorskoj zheleznoj dorogi [Forecasting indicators of Ulaanbaatar railway freight traffic]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2013, No 4 (40), pp. 225–228.
3. Krakovsky Y.M., Kargapol'cev S.K., Nachigin V.A. Modelirovanie perevoznochnogo processa zheleznodorozhnym transportom: analiz, prognozirovanie, riski; [pod red. prof. Y.M. Krakovskogo] [Modeling of the railway transportation process: analysis, forecasting, risks] [Ed. by Y. M. Krakovsky]. St. Petersburg: «LITEO», 2018. 240 p.
4. Luzgin A.N., Krakovsky Y.M. Prognozirovanie bazovykh pokazatelej perevoznochnogo processa na osnove scenarnogo podhoda [Prediction of the basic indicators of the transportation process based on the scenario approach]. *Prikladnaya informatika* [Applied Informatics], 2017, Volume 12, No 2 (68), pp. 29–36.
5. Nachigin V.A., Frolov V.F. Procedura vybora predpochtitel'nogo scenariya razvitiya perevoznochnogo processa [Procedure for choosing a preferred scenario for the development of the transportation process]. *Izvestiya Transsiba* [Journal of Transsib Railway Studies], 2014, No 1, pp. 109–115.
6. Nosko V.P. Ekonometrika [Econometrics]. M: Izdatel'skij dom «Delo», RANHiGS, 2011. Book.1. 672 p.
7. Os'minin A.T., Mekhedov M.I., Mednikov D.V. Obespechenie interoperabel'nosti perevozok [Ensure interoperability of traffic]. *ZHeleznodorozhnyj transport* [Railway transport], 2019, No 7, pp. 11–17.
8. Popova N.N., Krakovsky Y.M. Mnogofaktornoe prognozirovanie gruzooborota po dannym Dal'nevostochnoj zheleznoj dorogi [Multifactor forecasting of freight turnover according to Far Eastern Railway]. *Materialy Desyatoj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Materials of the Tenth International Scientific and Practical Conference "Transport infrastructure of the Siberian region"], 2019, pp. 337–341.
9. Popova N.N., Krakovsky Y.M. Prognozirovanie gruzooborota s uchetom faktornykh modelej [Forecasting of freight turnover based on factor models]. *Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki* [Actual issues of agricultural science], 2019, No. 32, pp. 63–69.
10. Rozenberg E.N., Anoshkin V.V. Perspektivy rosta propusknoj sposobnosti uchastkov [Prospects for increasing the lines capacity]. *ZHeleznodorozhnyj transport* [Railway transport], 2020, No. 3, pp. 4-7.
11. Saati T. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij. [Decision-making. Analytic hierarchy process]. M.: Radio i svyaz', 1993, 320 p.
12. Sotnikov E.A., Mekhedov M.I., Holodnyak P.S. Intensifikaciya rosta zagruzhennykh napravlenij seti zheleznodorozhnykh dorog [Intensification of growth of busy directions of railway network]. *ZHeleznodorozhnyj transport* [Railway transport], 2020, No. 3, pp. 11–14.
13. Fedorov Y.N. Povyshenie effektivnosti upravleniya holdingom «RZHD» za schet formirovaniya optimal'noj struktury organov regional'nogo upravleniya osnovnoj deyatel'nost'yu [Improving the management efficiency of the Russian Railways holding due to the formation of an optimal structure of regional administration of main activity]. *Ekonomika zheleznykh dorog* [Railway Economics], 2013, No. 11, pp. 41-46.
14. Frolov V.F. Novye podhody k upravleniyu perevoznochnym processom v usloviyah dinamichnogo izmeneniya vneshnej sredy [New approaches to the management of the transportation process in the conditions of dynamic change in the external environment]. *ZHeleznodorozhnyj transport* [Railway transport], 2014, No. 4., pp. 14-18.

15. Maklygin N., Nachigin A., Krakovski Y. The Scenario Approach for Prediction of Indicators Transportation Process. *The Fifth International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway (ISMR-2016)*. Nanchang, China, October 20-21, 2016, pp. 620-623.

Информация об авторах

Краковский Юрий Мечеславович - д. т. н., профессор, профессор кафедры «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: 79149267772@yandex.ru

Попова Наталья Николаевна – аспирант, кафедра «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: dayseven.93@yandex.ru

Authors

Krakovsky Yuri Mecheslavovich - Doctor of Engineering Sciences, Professor, chair «Information Systems and Information Security», Irkutsk State Transport University (ISTU), Irkutsk, e-mail: 79149267772@yandex.ru

Popova Natal'ya Nikolaevna - PhD student, chair «Information Systems and Information Security», Irkutsk State Transport University (ISTU), Irkutsk, e-mail: dayseven.93@yandex.ru

Для цитирования

Краковский Ю. М. Технология создания многофакторных и факторных прогнозных моделей показателей перевозочного процесса железнодорожным транспортом [Электронный ресурс] / Ю. М. Краковский, Н. Н. Попова // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – №4(10). – Режим доступа: <http://mnv.ircups.ru/toma/410-2020>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 31.12.2020)

For citation

Krakovsky Y.M., Popova N.N. Technology for creating multifactor and factor forecast models of indicators of the transportation process by rail. *The electronic scientific journal "Young science of Siberia"*, 2020, no. 4(10). [Accessed 31/12/20] (in Russian)