

УДК 004:656.21

СРЕДНЕСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КРАСНОЯРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Базилевский М.П., Врублевский И.П., Носков С.И., Яковчук И.С.

*ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»,
Иркутск, e-mail: mik2178@yandex.ru*

Настоящая статья посвящена среднесрочному прогнозированию эксплуатационных показателей функционирования Красноярской железной дороги. К таким показателям относятся: грузооборот, производительность локомотива, участковая скорость, средний вес грузового поезда, простой местного вагона, простой на технической станции, погрузка. Все прогнозы основаны на разработанной ранее динамической, нелинейной, открытой, рекурсивной математической модели регрессионного типа. Разработан прогнозный сценарий, согласно которому все прогнозы предложено делить на три типа – пессимистичный, оптимистичный и нейтральный. Для каждого типа осуществлено прогнозирование эксплуатационных показателей на 2015–2019 гг. Сравнение прогнозных значений показателей на 2015 г. с реальными данными показало, что фактические значения всех выходных переменных попали в интервалы, границами которых служат пессимистичные и оптимистичные прогнозные значения, что подтверждает высокую степень адекватности математической модели динамики эксплуатационных показателей функционирования Красноярской железной дороги.

Ключевые слова: регрессионная модель, дескриптивный прогноз, железнодорожный транспорт, эксплуатационные показатели

MEDIUM-TERM FORECASTING OF PERFORMANCE INDICATORS OF FUNCTIONING OF KRASNOYARSK RAILWAY

Bazilevskiy M.P., Vrublevskiy I.P., Noskov S.I., Yakovchuk I.S.

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: mik2178@yandex.ru

This article is devoted to medium-term forecasting of performance indicators of functioning of Krasnoyarsk railway. All forecasts are based on the previously developed a dynamic, non-linear, open, recursive mathematical model of regression type. The forecast scenario, according to which all forecasts suggested to divide into three types – pessimistic, optimistic and neutral, was designed. Forecasting for each type of performance indicators on the 2015–2019 years was carried out. Comparison of predicted values of the indicators for 2015 with real data showed that the actual values of all output variables fall into intervals whose boundaries are pessimistic and optimistic forecast values, which confirms the high degree of adequacy of mathematical models of the dynamics of the performance indicators for the Krasnoyarsk railway.

Keywords: regression model, descriptive forecast, rail transport, performance indicators

Железнодорожный транспорт является важнейшей отраслью страны, играет ключевую роль в её успешном развитии. Значительный интерес представляет получение так называемых дескриптивных прогнозных расчетов относительно будущих значений ключевых показателей функционирования транспортной отрасли. Именно к ключевым, несомненно, относятся показатели, связанные с грузовыми перевозками. Их прогнозированию и посвящена настоящая работа.

Краткое описание математической модели

В работе [6] представлена динамическая, нелинейная, открытая, рекурсивная математическая модель регрессионного типа для эксплуатационных показателей функционирования Красноярской железной дороги и факторов, на них влияющих. Эти показатели объединены в три группы: выходные

(группа Y), управляющие (группа X), а также характеристики, отражающие состояние «внешней» среды (группа Z), которые не поддаются оперативному эффективному регулированию на местном уровне. Приведем перечень показателей в каждой из групп.

Эксплуатационные показатели, определяющие качество функционирования дороги в смысле грузовой работы:

- y_1 – грузооборот (млн т·км);
- y_2 – производительность локомотива (т·км);
- y_3 – участковая скорость (км/ч);
- y_4 – средний вес грузового поезда (т);
- y_5 – простой местного вагона (ч);
- y_6 – простой на технической станции (ч);
- y_7 – погрузка (тыс. т).

Управляющие факторы (то есть поддающиеся регулированию со стороны руководства дорогой):

- x_1 – прием груженых вагонов;
- x_2 – прием порожних вагонов;

x_3 – динамическая нагрузка (т·км/км);
 x_4 – передача по стыкам (поездов);
 x_5 – среднесуточный пробег локомотива (км);
 x_6 – эксплуатируемый парк локомотивов (шт.);
 x_7 – техническая скорость (км/ч);
 x_8 – статическая нагрузка (т/ваг.);
 x_9 – средний состав поезда (ваг.);
 x_{10} – простой под одной грузовой операцией (ч);
 x_{11} – выгрузка (ваг.);
 x_{12} – рабочий парк вагонов дороги (ваг.);
 x_{13} – оборот грузового вагона (сут.);
 x_{14} – заявленный объем перевозок (тыс. т);
 x_{15} – наличие парка вагонов (тыс. шт.).
 Внешние показатели:
 z_1 – провозная способность железнодорожной линии (млн т·км);
 z_2 – валовой внутренний продукт страны (трлн руб.).

Мы не будем приводить здесь все соотношения модели – в [6] они подробно описаны. Заметим только, что при построении её регрессионных уравнений активно использовались алгоритмы и программные средства, описанные в работах [2–5], а также находящаяся в свободном доступе в Интернете программа Gretl. Анализ модели с применением принятых в регрессионном анализе критериев адекватности указывает на её высокие аппроксимирующие и прогностические характеристики, что позволяет эффективно использовать эту модель для решения широкого круга проблем, связанных со среднесрочным прогнозированием развития объекта исследований.

Модель содержит семь уравнений для выходных переменных и шесть – для управляющих.

Как отмечается в работе [6], процесс многовариантного прогнозирования будущих значений выходных переменных состоит в задании в рамках специально разработанного сценария соответствующих

значений управляющих переменных $x_6, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{15}$, для которых отсутствуют уравнения, а также значений внешних переменных z_1 и z_2 . Рассмотрим вопрос разработки прогнозного сценария, который был бы эффективен в данном случае.

Разработка прогнозного сценария

Возможный подход к решению проблемы мог бы состоять в следующем. Можно разработать три варианта прогнозов – пессимистичный, оптимистичный и нейтральный. Первый основывается на предположении, что события будут развиваться наихудшим образом, второй – наилучшим, а третий базируется на гипотезе, что те тенденции в развитии процесса, которые имели место на предыстории (2000–2014 гг.), будут продолжены и в будущем. При среднесрочном прогнозировании (на 2015–2019 гг.) в качестве значений входных переменных модели можно было бы принять для первого варианта их минимальные значения на предыстории, второго – максимальные, третьего – усредненные. Так, однако, поступать категорически нельзя, поскольку анализируемый процесс имеет ярко выраженный динамический характер, и то, что хорошо для 2014 г., может оказаться плохо для прогнозного периода.

Поэтому представляется, что более оправданным является следующий подход.

Для каждой входной переменной r строится тренд, например линейный:

$$r_t = a + bt + \varepsilon_t, \quad t = \overline{1, 15}. \quad (*)$$

Далее для нейтрального прогноза рассчитываются будущие значения r на основе уравнения (*). Для пессимистичного прогноза значение углового коэффициента b уменьшается на 25% (если r имеет позитивный характер и $b > 0$), а для оптимистичного – увеличивается на 25%.

В табл. 1 приведены соответствующие тренды.

Таблица 1

Линейные тренды

$x_1 = 2495,68 + 165,107t$	$x_7 = 49,849 + 0,169t$	$x_{13} = 1,688 + 0,209t$
$x_2 = 1730,77 + 95,728t$	$x_8 = 61,232 + 0,156t$	$x_{14} = 59704,9 + 1055,34t$
$x_3 = 51,367 + 0,373t$	$x_9 = 59,693 + 0,28t$	$x_{15} = 706,371 + 32,104t$
$x_4 = 63,038 + 4,278t$	$x_{10} = 18,798 + 3,973t$	$z_1 = 0,836 + 0,00682t$
$x_5 = 688,048 + 5,260t$	$x_{11} = 1733,14 - 2,518t$	$z_2 = 24,352 + 1,442t$
$x_6 = 296,486 + 12,714t$	$x_{12} = 5003,6 + 2260,6t$	

Для них не приводятся значения критериев адекватности, поскольку это не является принципиальным – главное, что уравнения, аналогичные (*), в любом случае отражают общую для предыстории тенденцию в динамике соответствующей переменной.

Данный подход был реализован авторами при разработке прогнозного программного комплекса БИВИН [1], который и был

использован при среднесрочном прогнозировании значений эксплуатационных показателей функционирования Красноярской железной дороги.

Результаты прогнозирования

В нижерасположенных табл. 2, 3, 4 и на графиках на рисунке приведены прогнозные значения эксплуатационных показателей.

Таблица 2

Пессимистичный прогноз

Год	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7
2015	91833	2217	44,223	3971,7	132,72	14,11	71532
2016	94434	2227,7	44,048	3994,3	141,22	14,931	72301
2017	97032	2238,5	43,872	4016,9	149,86	15,76	73069
2018	99629	2249,1	43,693	4039,5	158,64	16,595	73837
2019	102220	2259,8	43,511	4062,1	167,57	17,436	74605

Таблица 3

Нейтральный прогноз

Год	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7
2015	105330	2274,8	44,771	4092,2	106,21	10,339	76220
2016	108790	2288,8	44,638	4122,3	112,6	10,898	77282
2017	112250	2303,8	44,504	4152,4	119,08	11,464	78343
2018	115710	2316,7	44,368	4182,5	125,65	12,035	79405
2019	119170	2330,5	44,23	4212,7	132,3	12,612	80465

Таблица 4

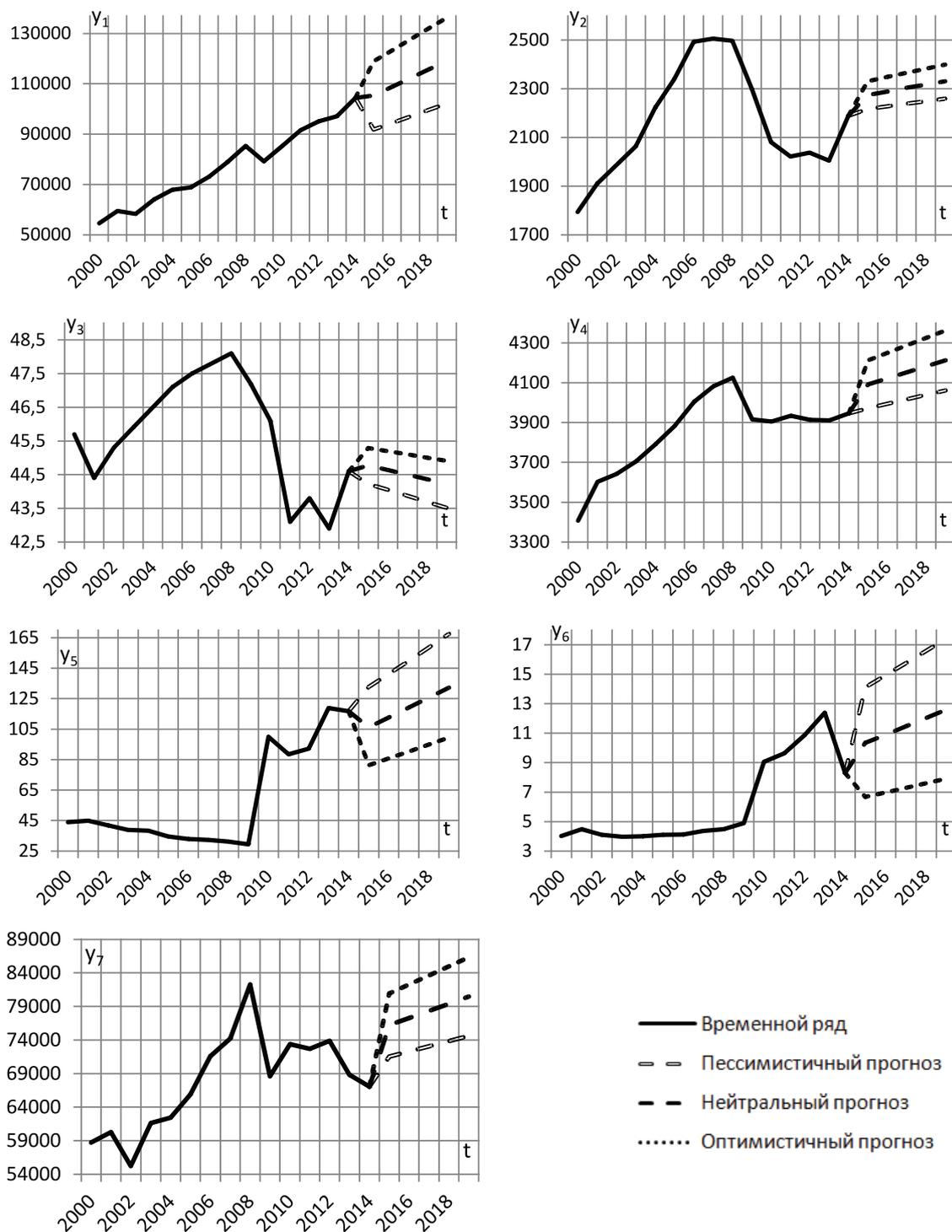
Оптимистичный прогноз

Год	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7
2015	118970	2331,3	45,29	4212,7	81,28	6,6832	80909
2016	123300	2348,4	45,195	4250,3	85,769	6,9833	82263
2017	127630	2365,4	45,101	4287,9	90,306	7,2888	83617
2018	131950	2382,3	45,005	4325,7	94,874	7,5996	84971
2019	136280	2399	44,908	4363,3	99,509	7,9148	86326

Таблица 5

Реальные значения всех переменных за 2015 г.

Переменная	Значение	Переменная	Значение	Переменная	Значение
x_1	5174	x_9	62,4	y_2	2235 (п)
x_2	3436	x_{10}	73,6	y_3	45 (о)
x_3	58,9	x_{11}	1581	y_4	3973 (п)
x_4	136	x_{12}	38637	y_5	109,9 (н)
x_5	778	x_{13}	4,7	y_6	7,9 (о)
x_6	523	x_{14}	73879	y_7	72172 (п)
x_7	51,3	x_{15}	1161	z_1	0,91
x_8	64,8	y_1	109552 (н)	z_2	42,2



Прогнозные значения эксплуатационных показателей

Естественный интерес вызывает сравнение прогнозных значений выходных переменных на 2015 г. с реальными. В табл. 5 приведены значения всех переменных модели за 2015 г.

Итак, фактические значения всех выходных переменных y_1, \dots, y_7 попали в интервалы, границами которых служат пессимистич-

ные и оптимистичные прогнозные значения. Причем значения переменных y_2, y_4, y_7 ближе к пессимистичным прогнозам, переменных y_1, y_5 – к нейтральным, а переменных y_3, y_6 – к оптимистичным. Абсолютные ошибки нейтрального прогноза для переменных y_1, \dots, y_7 составляют соответственно 4222; -39,8; 50,23; -119,2; 3,69; -2,44; -4048.

Таблица 6

Приросты показателей по отношению к 2014 г. (пессимистичный прогноз)

Год	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7
2015	87,99	101,27	99,15	100,65	113,70	170,00	106,69
2016	90,49	101,76	98,76	101,22	120,98	179,89	107,84
2017	92,98	102,26	98,37	101,80	128,38	189,88	108,98
2018	95,46	102,74	97,97	102,37	135,90	199,94	110,13
2019	97,95	103,23	97,56	102,94	143,55	210,07	111,27

Таблица 7

Приросты показателей по отношению к 2014 г. (нейтральный прогноз)

Год	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7
2015	100,93	103,91	100,38	103,71	90,99	124,57	113,68
2016	104,24	104,55	100,09	104,47	96,46	131,30	115,27
2017	107,56	105,24	99,78	105,23	102,01	138,12	116,85
2018	110,87	105,83	99,48	105,99	107,64	145,00	118,43
2019	114,19	106,46	99,17	106,76	113,34	151,95	120,01

Таблица 8

Приросты показателей по отношению к 2014 г. (оптимистичный прогноз)

Год	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7
2015	114,00	106,50	101,55	106,76	69,63	80,52	120,68
2016	118,15	107,28	101,33	107,71	73,48	84,14	122,69
2017	122,29	108,05	101,12	108,66	77,36	87,82	124,71
2018	126,43	108,83	100,91	109,62	81,28	91,56	126,73
2019	130,58	109,59	100,69	110,58	85,25	95,36	128,75

Особый интерес представляет информация о приросте (в процентах) значений показателей по отношению к 2014 г. для всех трех признаков. Эта информация представлена в табл. 6, 7 и 8.

Выводы

Все полученные результаты являются существенным доводом в пользу справедливости тезиса о высокой адекватности математической модели динамики эксплуатационных показателей функционирования Красноярской железной дороги. Модель может быть эффективно использована для прогнозирования этих показателей на среднесрочную перспективу, поскольку открывает

широкую возможность путем варьирования значений входных переменных рассчитывать значения выходных, их анализировать и вырабатывать рациональные управленческие решения по регулированию деятельности дороги.

Список литературы

1. Базилевский М.П., Врублевский И.П., Носков С.И. Программный комплекс БИВИН среднесрочного прогнозирования эксплуатационных показателей деятельности железной дороги // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. – 2016. – № 15. – С. 5–9.
2. Базилевский М.П., Носков С.И. Алгоритм построения линейно-мультипликативной регрессии // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2011. – № 1. – С. 88–92.

3. Базилевский М.П., Носков С.И. Алгоритм формирования множества регрессионных моделей с помощью преобразования зависимой переменной // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2011. – № 3. – С. 159–160.

4. Базилевский М.П., Носков С.И. Технология организации конкурса регрессионных моделей // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. – 2009. – № 7. – С. 77–84.

5. Носков С.И., Базилевский М.П. Программный комплекс автоматизации процесса построения регрессионных моделей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2010. – № 1. – С. 93–94.

6. Носков С.И., Врублевский И.П. Регрессионная модель динамики эксплуатационных показателей функционирования железнодорожного транспорта // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 2(50). – С. 192–197.

References

1. Bazilevskij M.P., Vrublevskij I.P., Noskov S.I. Programnyj kompleks BIVIN srednesrochnogo prognozirovanija

jekspluatacionnyh pokazatelej dejatelnosti zheleznoj dorogi. Informacionnye tehnologii i problemy matematicheskogo modelirovanija slozhnyh system, 2016, no. 15, pp. 5–9.

2. Bazilevskij M.P., Noskov S.I. Algoritm postroenija linejno-multiplikativnoj regressii. Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie, 2011, no. 1, pp. 88–92.

3. Bazilevskij M.P., Noskov S.I. Algoritm formirovanija mnozhestva regressionnyh modelej s pomoshhju preobrazovanija zavisimoj peremenoj. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij, 2011, no. 3, pp. 159–160.

4. Bazilevskij M.P., Noskov S.I. Tehnologija organizacii konkursa regressionnyh modelej. Informacionnye tehnologii i problemy matematicheskogo modelirovanija slozhnyh system, 2009, no. 7, pp. 77–84.

5. Noskov S.I., Bazilevskij M.P. Programnyj kompleks avtomatizacii processa postroenija regressionnyh modelej. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij, 2010, no. 1, pp. 93–94.

6. Noskov S.I., Vrublevskij I.P. Regressionnaja model dinamiki jekspluatacionnyh pokazatelej funkcionirovanija zheleznodorozhnogo transporta. Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie, 2016, no. 2(50), pp. 192–197.