

УДК 519.246.8
ББК 22.172.8
Б 94

Бучатская В.В.

Кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики, информационных технологий и информационной безопасности факультета математики и компьютерных наук Адыгейского государственного университета, Майкоп, тел. (8772) 593904, e-mail: buch_vic@mail.ru

Гоголева А.В.

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры управления эксплуатационной работой Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, e-mail: gogoleva@pgups.ru

**Прогнозирование средней участковой скорости движения поездов
на основе многофакторной регрессионной модели**

(Рецензирована)

Аннотация. Представлена методика оценки средней участковой скорости движения грузовых поездов, включающая построение прогнозной модели на основе многофакторной линейной регрессионной модели. Выполнена проверка адекватности и точности полученной модели, представлены результаты экспериментальной проверки предлагаемой методики.

Ключевые слова: средняя участковая скорость движения поездов, прогнозная модель, регрессионная модель, многофакторная регрессия, оценка адекватности и точности модели.

Buchatskaya V.V.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Applied Mathematics, Information Technologies and Information Security of the Faculty of Mathematics and Computer Science, Adygea State University, Maikop, ph. (8772) 593904, e-mail: buch_vic@mail.ru

Gogoleva A.V.

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department Managing of Exploitation Work, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, e-mail: gogoleva@pgups.ru

**Forecasting the average zone speed movement on the basis
of a multifactorial regression model**

Abstract. The article presents a technique for estimating the average zone speed of freight trains, including the construction of a predictive model based on a multifactorial linear regression model. The adequacy and accuracy of the model obtained is calculated, and the results of the experimental verification of the proposed methodology are presented in this paper.

Keywords: average zone speed of trains, predictive model, regression model, multifactorial regression, adequacy and accuracy of the model.

Одним из целевых показателей перевозочной деятельности железной дороги является показатель средней участковой скорости движения грузовых поездов. Формирование бюджетного значения показателя средней участковой скорости v_{yu} основано на прогнозировании его ожидаемого выполнения в плановом периоде. Однако принятый в настоящее время подход к прогнозу средней участковой скорости базируется на оценке влияния на ее величину факторов, значения которых остаются неизменными в течение планового периода. Это приводит к тому, что при планировании показателя становится невозможным учитывать динамику изменения условий перевозки. В результате наблюдаются значительные невыполнения плановых значений v_{yu} .

В этой связи существует необходимость в совершенствовании методов анализа и прогноза величины средней участковой скорости на основе возможного полного анализа факторов, влияющих на ее значение в зависимости от различных условий перевозки [1, 2].

Для разработки модели прогноза средней участковой скорости был проведен детальный анализ, систематизация и классификация факторов, влияющих на ее значение, выявлена связь этих факторов с величиной средней участковой скорости, а также разработана методика оценки их влияния.

Средняя участковая скорость движения грузовых поездов определяется по формуле:

$$v_{yu} = \beta_x v_x,$$

где v_x – ходовая скорость, которая на любом участке протяженностью L км рассчитывается как $\frac{L}{T_x}$ км/ч, причем время хода по участку T_x принимается по тяговым расчетам.

Для оценки влияния вариативных производственно-технологических факторов на коэффициент скорости β_x предлагается ввести параметр A , учитывающий случайные потери времени на участке по причинам задержек поездов:

$$\hat{\beta}_x = 1 - A \cdot \frac{T}{1440}.$$

Коэффициент скорости β_x выступает в качестве комплексной характеристики влияния производственно-технологических факторов на значение участковой скорости. Введение вариативного параметра A делает коэффициент β_x вариативной величиной, и, следовательно, ведет к отказу от классического детерминированного представления β_x .

Таким образом, задача оценки влияния вариативных факторов на значение средней участковой скорости сводится к нахождению зависимости

$$A = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Наличие обширного массива статистических данных о выполнении средней участковой скорости и размерах задержек грузовых поездов позволяет для определения параметра A применить математический аппарат стохастического моделирования [3].

В ходе исследования предметной области было выделено 29 вариативных факторов, оказывающих влияние на искомый параметр. Однако включение в модель такого числа факторов затруднит выявление закономерностей и получение надежных оценок. Для сокращения числа факторных признаков в модели вариативные факторы сгруппированы до 8 факторных групп (табл. 1).

Предложенный состав групп дает возможность сконцентрировать внимание на наиболее важных и существенных причинах невыполнения установленных значений средней участковой скорости. Выбор в качестве факторных признаков групп причин задержек позволит не только определить значение параметра A в зависимости от величины задержек поездов, но и определить вклад отдельной факторной группы в изменение параметра A .

Для установления аналитического выражения стохастической зависимости между исследуемыми величинами A и Φ_i использован метод множественного регрессионного анализа.

Регрессионная модель оценки параметра A , выражающая зависимость среднего значения A от значений групп Φ_i , имеет вид:

$$A = f(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_8) + \varepsilon,$$

где регрессионная модель параметра A имеет вид:

$$A = a + b_1 \Phi_1 + b_2 \Phi_2 + \dots + b_8 \Phi_8 + e, \quad (1)$$

где b_k – коэффициенты «чистой» регрессии, $k=1 \div 8$.

Для практического использования модели оценки параметра A большое значение имеет ее адекватность. Так как регрессионный анализ взаимосвязи параметра A и групп задержек поездов Φ_i проводится для ограниченной по объему совокупности (2 месяца), коэффициенты уравнения регрессии могут быть искажены действием случайных факторов. Проверка адекватности модели оценки параметра A осуществлялась путем оценки качества уравнения регрессии на основе коэффициента детерминации R^2 , оценки значимости уравнения – на основе F -критерия Фишера, оценки точности полученной модели – на основе анализа доверительного интервала для функции регрессии – параметра A , анализа ошибки модели ε_i [4].

В результате исследования особенностей множественного регрессионного анализа взаимосвязей значений A и групп задержек поездов Φ разработана методика построения модели оценки параметра A . Алгоритм оценки параметра A для заданных условий пере-

возки на отдельном направлении представлен на рисунке 1.

Таблица 1

Предлагаемый состав факторных групп

Вариативные факторы (f_i)	Факторные группы (Φ_i)
Несвоевременное формирование составов и подготовка поездных документов	Несвоевременное формирование составов и подготовка поездных документов (Φ_1)
Необеспечение подсылки локомотивов и бригад под состав, неправильная подвязка локомотивов к поездам	
Невыдача локомотивов или неявка бригад	
Несоблюдение норм времени на ТО	Несоблюдение норм времени на операции по отправлению (Φ_2)
Несоблюдение норм времени на КО, таможенный и пограничный досмотр, нарушение условий погрузки грузов	
Неисправность локомотива	
Техническая неисправность грузового вагона	Неисправность ПС на станции (Φ_3)
Коммерческая неисправность грузового вагона	
Перерыв в подаче эл/эн на станции	
Наезд в границах станции	
Неправильное использование ТС работниками ДУД	
Неправильные действия работников ДИ	
Повреждение, неисправная работа устройств и объектов инфраструктуры на станции	Нарушение нормальной работы ТУ объектов инфраструктуры на станции (Φ_4)
Повреждение, неисправное действие объектов ИВЦ	
Чрезвычайные ситуации в пути следования	Чрезвычайные ситуации в пути следования (Φ_5)
Неприем ж.д. станциями	
Неприем соседними дорогами	
Неправильные действия ОДП	Нарушение технологии работы (Φ_6)
Неправильные действия локомотивных бригад	
Неисправность самоходного подвижного состава	
Неисправность локомотива и локомотивных устройств безопасности	
Техническая неисправность грузового вагона	Неисправность ПС в пути следования (Φ_7)
Коммерческая неисправность грузового вагона и нарушение условий закрепления груза	
Перерыв в подаче напряжения на участке	
Неисправность технических устройств, неудовлетворительное состояние пути	
Передержки «окон» для ремонта пути и технических устройств	Нарушение нормальной работы объектов инфраструктуры на участке (Φ_8)
Передержки «окон» для производства строительных, ремонтных и др. работ функциональным заказчиком	
Ремонтно-путевые работы, не предусмотренные ГДП	

Проверка предлагаемой методики прогнозирования средней участковой скорости проведена путем расчета месячных прогнозных значений показателя средней участковой скорости движения грузового поезда. Исходными данными для расчета послужили нормативный и вариантный график движения поездов, отчеты ЦО-4 и справки о задержках грузовых поездов за период январь-август 2011 г. по направлениям Санкт-Петербург – Кошта, Санкт-Петербург – Выборг, Мурманск – Беломорск – Сумский Посад, Шаховская – Посинь Октябрьской железной дороги. Определение прогнозных значений осуществлялось по схеме, соответствующей разработанной методике:

- 1) построение модели оценки параметра A в соответствии с представленным на рисунке 1 алгоритмом по данным за 2 предыдущих месяца;
- 2) определение значения A путем подстановки в модель значений факторных групп Φ_i ;
- 3) расчет значения параметра \hat{T} по данным нормативного (вариантного) графика движения поездов и плановым заданиям;
- 4) расчет значения по формуле:

$$\nu_{yq}^{npoz} = \left(1 - \Phi \cdot \frac{\hat{T}}{1440} \right) \nu_x, \quad (2)$$

где ν_x – значение ходовой скорости грузовых поездов на направлении.



Рис. 1. Предлагаемый алгоритм оценки параметра A для заданных условий перевозки, где B – процедура исключения из моделируемой совокупности группы задержек Φ_i , коэффициент при которой незначим; C – процедура преобразования модели

Характеристики качества полученных регрессионных моделей представлены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики качества моделей оценки параметра A

Модель оценки параметра A	R^2	F	$F_{крит}$
Апрель	0,56	9,95	2,34
Май	0,54	11,21	2,41
Июнь	0,58	16,21	2,57
Июль	0,63	7,48	2,66
Август	0,60	18,57	3,18

Результаты определения прогнозных значений в анализируемый период представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты определение прогнозных значений на направлении
Санкт-Петербург – Кошта в период апрель–август 2011 г.

	A	\hat{T} , ч	v , км/ч
Апрель	4,236	126,59	36,9
Май	4,363	153,38	32,14
Июнь	4,308	153,06	32,51
Июль	4,204	152,42	33,33
Август	3,999	152,1	34,71

Для апробации предложенной методики проведена ее экспериментальная проверка.

Для апостериорной оценки точности прогнозных значений средней участковой скорости сопоставлены полученные результаты с плановыми и фактическими значениями средней участковой скорости за тот же период. Результаты сопоставления показывают, что применение предложенного метода при планировании показателя средней участковой скорости позволит уменьшить отклонение его фактических значений от плановых.

Результаты сопоставления прогнозных, плановых и фактических значений средней участковой скорости представлены на графике (рис. 2).



Рис. 2. Сопоставление прогнозных, плановых и фактических значений средней участковой скорости в период март–август 2011 г. на направлении Санкт-Петербург – Кошта.

Сравнение полученных прогнозных значений средней участковой скорости с ее фактическими значениями за тот же период показало, что предложенный метод позволяет осуществлять прогноз с достаточно высокой точностью. Средняя ошибка прогноза составила 2,8.

Таким образом, разработанная методика прогноза средней участковой скорости позволяет учитывать изменяющиеся условия перевозки на заданный период времени и может быть использована при непрерывном планировании показателя.

Примечания:

1. Акулиничев В.М., Кудрявцев В.А., Корешков А.Н. Математические методы в эксплуатации железных дорог: учеб. пособие для вузов железнодорожного транспорта. М.: Транспорт, 1981. 223 с.
2. Быкадыров А.В., Пешков А.М. Применение математических методов в управлении процессами перевозок: учеб. пособие для вузов. Самара: СГАПС, 1995. 68 с.
3. Котенко А.Г., Котенко О.В., Гоголева А.В. Определение участковой скорости на основе стохастического моделирования параметра, описывающего влияние задержек поездов // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2011. Вып. 4 (29). С. 113–120.
4. Глушченко В.В. Прогнозирование. 3-е изд. М.: Вузовская книга, 2000. 208 с.

References:

1. Akulinichev V.M., Kudryavtsev V.A., Koreshkov A.N. Mathematical methods in the operation of railways: a manual for higher schools of railway transport. M.: Transport, 1981. 223 pp.
2. Bykadyrov A.V., Peshkov A.M. Application of mathematical methods in the control of transportation processes: a manual for higher schools. Samara: SGAPS, 1995. 68 pp.
3. Kotenko A.G., Kotenko O.V., Gogoleva A.V. Determination of precinct speed on the basis of stochastic modeling of the parameter describing the effect of train delays // News of Petersburg University of Railway Communications. 2011. Iss. 4 (29). P. 113–120.
4. Glushchenko V.V. Forecasting. 3rd ed. M.: Vuzovskaya Kniga, 2000. 208 pp.