

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ «СРЕДНИЙ ВЕС ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА»

Кандидат техн. наук **Маринин С.А.**
(Нижегородский центр организации работы железнодорожных станций)

FORECAST OF RAILWAY OPERATIONAL PERFORMANCE INDICATOR "AVERAGE WEIGHT OF A FREIGHT TRAIN"

S.A. Marinin, Ph.D. (Tech.)
(Nizhny Novgorod Center for Organizing the Work of Railway Stations)

Эксплуатационная работа; средний вес грузового поезда; прогнозирование показателей; корреляционный анализ; уравнение регрессии.

Operational work; average weight of a freight train; forecast of indicators; correlation analysis; regression equation.

В настоящее время учёт выполнения показателей эксплуатационной работы ведётся по факту состоявшейся эксплуатационной работы, что не позволяет своевременно реагировать на их отклонение. Предложен способ прогнозирования показателя «средний вес грузового поезда» на несколько суток вперёд, что даёт возможность принимать оперативные меры в случае, если прогнозируется его снижение.

At present, the accounting of the performance indicators of operational work is carried out upon the fact of the completed operational work, which does not allow timely response to their deviation. The article proposes a method for predicting the indicator "average weight of a freight train" for several days ahead, which makes it possible to take prompt action if it is predicted to decrease.

Введение

Одним из основных ключевых показателей деятельности, оценивающим качество эксплуатационной работы на железнодорожном транспорте, как известно, является показатель «средний вес грузового поезда» (фактически данный показатель характеризует массу поезда и имеет размерность «тонны», но в ОАО «РЖД» имеет название «вес поезда»).

В соответствии с существующей технологией формирования данного показателя, узнать его значение можно только по факту обработки маршрутных листов машинистов [1]. Такое положение дел не даёт возможности своевременно реагировать на его изменение и принимать оперативные меры по наращиванию в случае невыполнения. Для решения проблемы на примере Горьковской железной дороги были выполнены исследования, позволившие предложить способ прогнозирования показателя эксплуатационной работы «средний вес грузового поезда». В настоящей статье приведены основные результаты данного исследования.

Исследование механизма формирования показателя эксплуатационной работы «средний вес грузового поезда»

Для определения механизма формирования показателя эксплуатационной работы «средний вес грузового поезда» (далее – средний вес поезда) проведено исследование, целью которого явилось установить взаимосвязь между данным показателем и воздействующими на него факторами. С этой целью за 2018 г. были собраны посуточные данные о среднем весе поезда в целом по железной дороге, по территориальным управлениям

и по приёму на железную дорогу по междорожным стыковым пунктам (Петушки и Черусти с Московской железной дорогой; Новки, Свеча и Суоловка с Северной железной дорогой; Чепца-Балезинская, Чепца-Игринская и Дружинино со Свердловской железной дорогой; Красный Узел, Цильна и Алнаши с Куйбышевской железной дорогой).

Выбор среднего веса поезда по приёму по междорожным стыковым пунктам для рассмотрения в качестве внешнего фактора обусловлен большой транзитностью железной дороги (более 85 % вагонов, поступающих на дорогу, транзитные; из них более 70% проследуют дорогу без переработки). На железных дорогах с другим характером эксплуатационной работы основные внешние факторы могут быть иными.

Для понимания того, как средний вес поезда по железной дороге и территориальным управлениям зависит от среднего веса поезда по приёму по междорожным стыковым пунктам, были построены гистограммы, показывающие распределение их частот. Для этого, используя правило Стёрджесса [2], по каждому фактору было определено требуемое количество интервалов разбиения:

$$K = 3,3 \lg N + 1, \quad (1)$$

где N – объём полученной выборки.

На рис. 1 в качестве примера приведена гистограмма, показывающая, как распределён средний вес поезда по железной дороге. Из гистограммы видно, что имеет место правостороннее смещение плотности распределения. Это говорит о преобладании гружёных вагонопотоков над порожними.

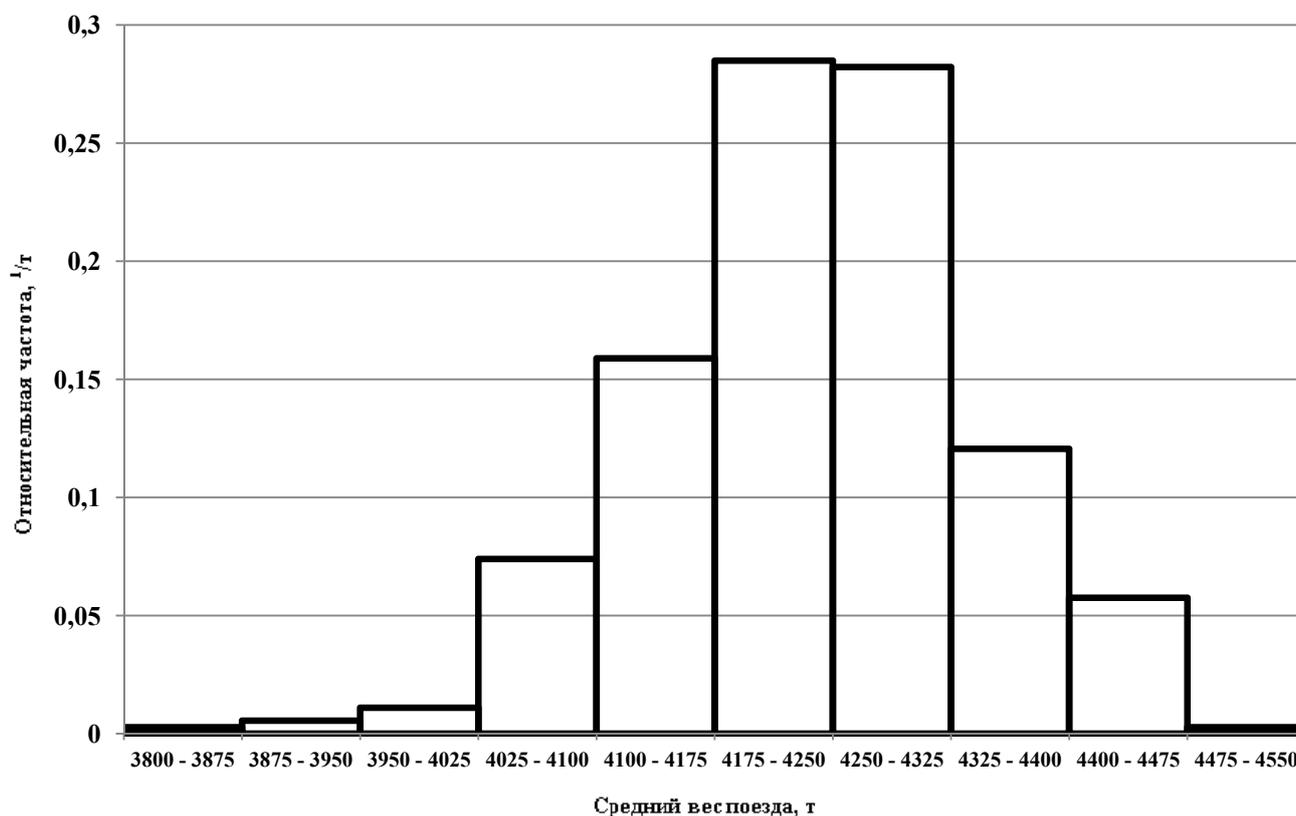


Рис. 1. Гистограмма распределения среднего веса поезда по железной дороге

При исследовании механизма формирования показателя требуется определить, какому закону соответствует его распределение. Для этого была проверена гипотеза с применением критерия согласия Пирсона. Целью исследования явилось сравнение статистических и теоретических частот распределения. Критерий Пирсона с определённым уровнем значимости устанавливает соответствие этих частот и определяется по формуле [3]:

$$\chi_{набл}^2 = \frac{\sum (n_i - n'_i)^2}{n_i}, \quad (2)$$

где n_i – статистическая частота;
 n'_i – теоретическая частота.

Расчёты велись при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Результаты выполненных расчётов показали, что рассматриваемый показатель достаточно точно описывается нормальным законом распределения [4]. Достаточно хорошее соответствие среднего веса поезда нормальному закону распределения подтверждается и другими исследованиями [5].

В таблице 1 приведены результаты проверки соответствия нормальному закону распределения среднего веса поезда по железной дороге и по каждому территориальному управлению, в таблице 2 – по приёму на железную дорогу.

Таблица 1

Результаты расчёта величины χ^2 для среднего веса поезда по железной дороге и территориальным управлениям

Средний вес поезда	Величина χ^2	Число степеней свободы	Критическое значение критерия χ^2
по Горьковской железной дороге	17,8	7	14,1
по Муромскому территориальному управлению	6,9		
по Горьковскому территориальному управлению	11,4		
по Кировскому территориальному управлению	10,8		
по Казанскому территориальному управлению	6,0		
по Ижевскому территориальному управлению	24,5		

Результаты расчёта величины χ^2 для среднего веса поезда по приёму по междорожным стыковым пунктам

Средний вес поезда по приёму по междорожным стыковым пунктам	Величина χ^2	Число степеней свободы	Критическое значение критерия χ^2
по всем междорожным стыковым пунктам	6,3	7	14,1
по Черустям	13,3		
по Красному Узлу	397,9		
по Алнашам	22,3		
по Петушкам	26,0		
по Новкам	22,1		
по Сусоловке	5,5		
по Чепце-Балезинской	19,6		
по Чепце-Игринской	360,1		
по Свече	34,7		
по Цильне	55,0		
по Дружинино	19,7		

Проблемой в оценке влияния среднего веса поезда по приёму по междорожным стыковым пунктам на средний вес поезда по железной дороге является то, что первый показатель формируется на основании информации из АСОУП [6], а второй – из маршрутных листов машинистов [1]. Поэтому для увязки рассматриваемых показателей была применена следующая методика [7].

Вначале были определены парные коэффициенты корреляции между средним весом поезда по железной дороге (территориальным управлениям) и по приёму по междорожным стыковым пунктам по формуле [8]:

$$r_{xy} = \frac{M\{[X - M(X)][Y - M(Y)]\}}{\sqrt{M(X^2) - [M(X)]^2} \sqrt{M(Y^2) - [M(Y)]^2}}, \quad (3)$$

где M – математическое ожидание исследуемой величины;

X – входная переменная;

Y – выходная переменная. Далее было проверено наличие корреляционной связи между средним весом поезда по приёму по междорожным стыковым пунктам и по железной дороге (территориальным управлениям) в следующие сутки, через сутки и т.д. Глубина сопоставления данных составила 5 суток. Этого времени достаточно для проследования поезда по железной дороге и обработки информации о выполненных поездках из маршрутных листов машинистов. В качестве первых

суток приняты сутки поступления поезда на железную дорогу.

После определения коэффициентов корреляции, была выполнена проверка их значимости, для чего был использован T – критерий [9]:

$$T = r_{xy} \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}, \quad (4)$$

где r_{xy} – коэффициент корреляции;

n – объём выборки. Результаты вычислений для территориальных управлений и железной дороги приведены в таблице 3. В ней показаны только те междорожные стыковые пункты, где имеет место значимая корреляционная связь. В случаях, когда имеет место значимое положительное влияние, в ячейках поставлен знак «+», при значимом отрицательном влиянии – знак «-».

Как видно из таблицы 3, значимое влияние на средний вес поезда по территориальным управлениям оказывается средним весом поезда по приёму по междорожным стыковым пунктам, расположенным на главных ходах (Дружинино, Черусти, Чепца-Балезинская, Свеча, Петушки), что обусловлено большим удельным весом грузовых поездов, следующих через них, по сравнению с рокадными направлениями.

Влияние среднего веса поезда по приёму по междорожным стыковым пунктам на средний вес поезда по территориальным управлениям и железной дороге

Междорожный стыковой пункт	1 сутки	2 сутки	3 сутки	4 сутки	5 сутки
Муромское территориальное управление					
Черусти		+			
Дружинино		+			
Горьковское территориальное управление					
Петушки		+	+	+	
Кировское территориальное управление					
Свеча	+	+	+		
Чепца-Балезинская	+	+	+		
Казанское территориальное управление					
Дружинино		+			
Ижевское территориальное управление					
Черусти			+		
Дружинино	+	+	+		
Железная дорога					
Чепца-Балезинская	□	□			
Дружинино		+	+		
Все междорожные стыковые пункты		+	+		

На средний вес поезда по железной дороге оказывает влияние средний вес поезда по приёму по междорожным стыковым пунктам Дружинино и Чепца-Балезинская. При этом средний вес поезда по приёму по междорожному стыковому пункту Дружинино оказывает положительное влияние во вторые и третьи сутки после поступления, а по приёму по междорожному стыковому пункту Чепца-Балезинская – отрицательное влияние в первые и вторые сутки.

Полученный результат говорит не о том, что при увеличении среднего веса поезда по приёму по междорожному стыковому пункту Чепца-Балезинская снижается средний вес поезда по железной дороге, а о том, что на средний вес поезда по железной дороге влияет направление вагонопотоков со Свердловской железной дороги. При увеличении гружёного вагонопотока по приёму по междорожному стыковому пункту Дружинино, увеличивается участок следования поездов по железной дороге (протяжённость участка Дружинино – Черусти 1410 км), а при увеличении гружёного вагонопотока по приёму по междорожному стыковому пункту Чепца-Балезинская участок следования поездов по железной дороге уменьшается (протяжённость участка Чепца – Свеча 403 км).

Данные выводы подтверждает и корреляционный анализ, проведённый между приёмом поездов и вагонов по междорожным стыковым пунктам Чепца-Балезинская и Дружинино. Результаты приведены в таблице 4. Как из неё видно, при увеличении приёма поездов и вагонов, в том числе гружёных, по одному междорожному стыковому пункту, их приём по другому междорожному стыковому пункту уменьшается.

В соответствии с результатами, приведёнными в таблице 3, для среднего веса поезда по железной дороге значимым фактором определён средний вес поезда по приёму по всем междорожным стыковым пунктам. Значимое влияние наблюдается во вторые и третьи сутки. При этом средний вес поезда по приёму по междорожному стыковому пункту Дружинино и по всем междорожным стыковым пунктам тесно связаны между собой. Но влияние среднего веса поезда по приёму по междорожному стыковому пункту Дружинино на средний вес поезда по железной дороге больше, чем среднего веса поезда по приёму по всем междорожным стыковым пунктам. Поэтому при прогнозировании среднего веса поезда по железной дороге целесообразнее учитывать влияние каждого междорожного стыкового пункта отдельно.

Таблица 4

Результаты проверки значимости взаимосвязи между приёмом поездов и вагонов по междорожным стыковым пунктам Чепца-Балезинская и Дружинино

Рассматриваемая пара	Коэффициент корреляции	T – критерий	T – критерий критич.	Коррелированность
Приём поездов	-0,27	5,38	1,97	Да
Приём вагонов	-0,27	5,37		Да
Приём гружёных вагонов	-0,27	5,43		Да
Приём порожних вагонов	0,04	0,75		Нет

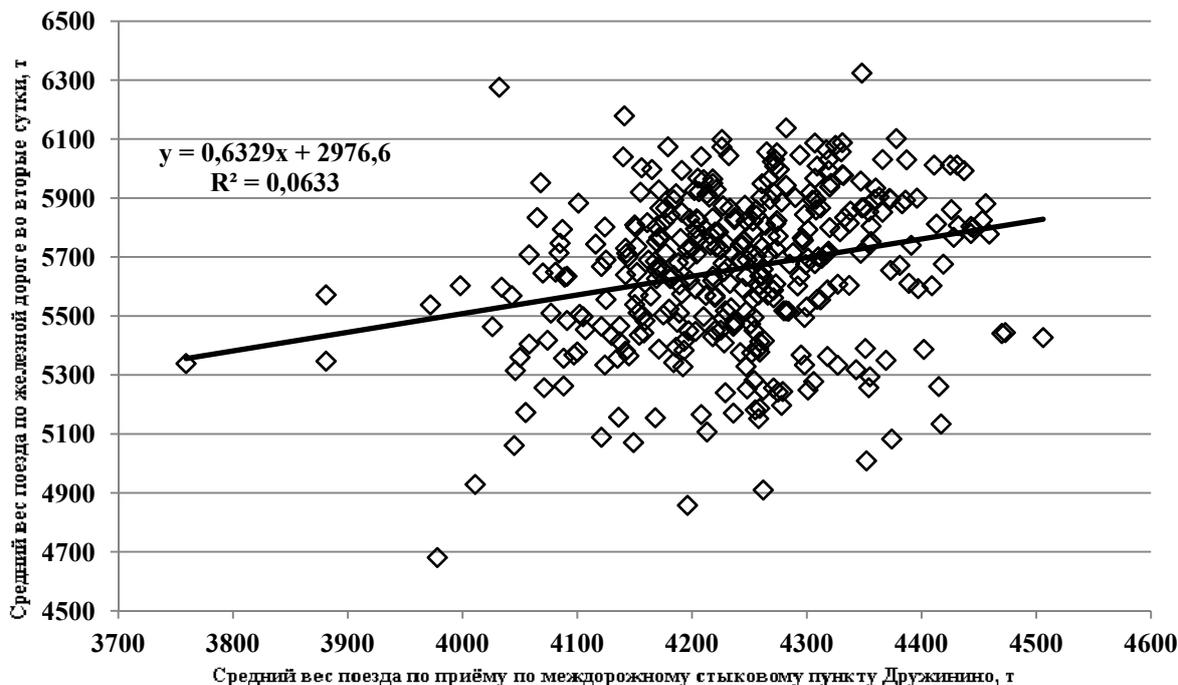


Рис. 2. Влияние среднего веса поезда по приёму по междорожному стыковому пункту Дружинино на средний вес поезда по железной дороге во вторые сутки

На рис. 2, в качестве примера, показана зависимость среднего веса поезда по железной дороге во вторые сутки от среднего веса поезда по приёму по междорожному стыковому пункту Дружинино.

Прогнозирование показателя эксплуатационной работы «средний вес грузового поезда»

Для количественной оценки степени влияния среднего веса поезда по приёму по междорожным стыковым пунктам на средний вес поезда по железной дороге, были составлены уравнения регрессии для среднего веса поезда. Уравнение регрессии имеет вид [10]:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + \dots + b_n \cdot x_n, \quad (5)$$

где b – коэффициенты регрессии;

x – факторы, влияющие на переменную.

Так как по результатам корреляционного анализа средний вес поезда по железной дороге значимо зависит от среднего веса поезда по приёму по междорожным стыковым пунктам Дружинино и Чепца-Балезинская, то эти два параметра были выбраны в качестве влияющих факторов. Расчёты выполнены с использованием пакета анализа MS Excel.

По результатам расчётов средний вес поезда по железной дороге в первые сутки составит:

$$Q_1 = 4737,7 - 0,08111 \cdot Q_{ЧБ},$$

где $Q_{ЧБ}$ – средний вес поезда по приёму по междорожному стыковому пункту Чепца-Балезинская.

Во вторые сутки:

$$Q_2 = 4318,2 - 0,10866 \cdot Q_{ЧБ} + 0,10424 \cdot Q_D,$$

где Q_D – средний вес поезда по приёму по междорожному стыковому пункту Дружинино.

В третьи сутки:

$$Q_3 = 3891,1 + 0,06128 \cdot Q_D$$

Путём подставления в полученные уравнения значений среднего веса поезда по приёму по междорожным стыковым пунктам Дружинино и Чепца-Балезинская, можно количественно оценить, как поведёт себя средний вес поезда по железной дороге в текущие сутки, следующие сутки и через сутки.

Таким же образом, исходя из результатов корреляционного анализа, уравнения регрессии были составлены для всех территориальных управлений железной дороги.

Выводы

Выполненное исследование позволило частично объяснить вариабельность показателя эксплуатационной работы «средний вес грузового поезда», а предложенная методика прогнозировать тенденцию его изменения на несколько суток вперёд и, соответственно, за счёт снижения неопределённости облегчить процесс принятия решений при организации перевозочного процесса.

В отличие от ранее предложенных методик прогнозирования показателей эксплуатационной работы, которые направлены на установление плановых показателей на будущие временные периоды, предложенная автором методика направлена на прогнозирование фактического выполнения показателя в текущем временном периоде.

Для повышения точности прогноза необходимо учитывать большее количество эксплуатационных факторов, которые влияют на рассматриваемый показатель.

Литература

1. Методические указания по формированию показателей наличия, состояния и использования локомотивного парка, утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 27.12.2013, № 2906р.

2. Sturges H. The choice of a class-interval // Journal of the American Statistical Association. – 1926. – 21, С. 65-66.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учебник для студентов вузов. – М.: Издательский дом «Академия», 2003. – 576 с. – ISBN 5-7695-0984-8.
4. Dehling H., Haupt D. Einführung in die Wahrscheinlichkeits-theorie und Statistik. – Berlin: Springer, 2004 – 306 s. – ISBN 3-540-20380-X.
5. Маринин С. А. Определение эксплуатационных факторов, влияющих на средний вес грузового поезда // Инновационный транспорт. 2019. № 2. С 56 – 61. ISSN 2311-164X.
6. Инструкция по учёту перехода грузовых поездов, грузовых вагонов и контейнеров по стыковым пунктам железных дорог – филиалов ОАО «РЖД», утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 25.09.2013 № 2056р.
7. Маринин С. А. Влияние окон для ремонтных и строительно-монтажных работ на участковую скорость движения грузовых поездов // Инновационный транспорт. 2017. № 2. С 55 – 58. ISSN 2311-164X.
8. Куликов Е. И. Прикладной статистический анализ. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 464 с. – ISBN 978-5-9912-0021-9.
9. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 2004. – 479 с. – ISBN 5-06-004214-6.
10. Rohadgi V.K., Ehsanes A.K.Md. An introduction to probability and statistics. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2015 – 700 p. – ISBN 978-1-118-79964-2.

Сведения об авторе:

Маринин Сергей Александрович, Нижегородский центр организации работы железнодорожных станций, начальник отдела по работе со станциями.

Адрес: 603002, г. Нижний Новгород, пл. Революции, д. 5.

Телефон: 8-905-866-88-50,
e-mail: marininsergey.nn@mail.ru.