

и дипломному проектированию / С. И. Логинов, А. Н. Ефанов, Ю. И. Ефименко. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2009. – 19 с.

4. **Техническо-распорядительный акт** станции Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский : утв. нач. Окт. дирекции управления

движением А. А. Мараковым. – СПб., 2010. – 193 с.

5. **Технологический процесс** работы станции Санкт-Петербург-Сортировочный Московский : утв. нач. Окт. ж. д. В. В. Степовым. – СПб., 2010. – С. 58–64, 87–90.

УДК 681.142

Г. Б. Титов

Московский институт инженеров транспорта

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ СВОЕВРЕМЕННОЙ ДОСТАВКИ ГРУЗА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Описана методика оценки вероятности своевременной доставки груза железнодорожным транспортом, необходимая для определения надёжности временной доставки грузов в плановое время. В современных условиях мероприятия по интенсификации железнодорожного транспорта, повышению эффективности его работы и улучшению планирования и управления перевозочным процессом особенно актуальны.

железнодорожный транспорт, математическая модель, перевозка грузов, время движения груза, оценка своевременной доставки груза железнодорожным транспортом, грузоотправитель, грузополучатель, груженный пробег, время маршрута, методика.

Введение

В соответствии со Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г. [1] железнодорожный транспорт играет исключительную роль в создании условий для модернизации, перехода на инновационный путь развития и устойчивого роста национальной экономики, способствует созданию условий для обеспечения лидерства России в мировой экономической системе. От состояния и качества работы железнодорожного транспорта зависят не только перспективы дальнейшего социально-экономического развития, но также возможности государства эффективно выполнять такие важнейшие функции, как защита национального суверенитета и безопасности страны, обеспечение потребности граждан в перевозках,

создание условий для выравнивания социально-экономического развития регионов. Для разработки мероприятий по интенсификации железнодорожного транспорта и повышения эффективности его работы, а также улучшения планирования и управления перевозочным процессом необходимы методики, дающие возможность оценивать надёжность временной доставки грузов в плановое время. Описанию новой методики оценки вероятности своевременной доставки груза железнодорожным транспортом посвящена данная статья.

Перевозка грузов железнодорожным транспортом входит в состав элементов комплекса логистической цепи грузодвижения на транспортном рынке. Надёжный процесс своевременной доставки грузов обеспечивает

формирование не только одного из важных качественных показателей работы транспорта, но и формирует показатель его конкурентоспособности на рынке транспортных услуг. Таким образом, соблюдение срока доставки груза является первостепенным условием, определяющим не только качество перевозки грузов, но и обеспечивает успешное заключение договоров на рынке транспортных услуг.

Как известно, правилами исчисления сроков доставки грузов железнодорожным транспортом устанавливается общее (нормативное) время $T_{\text{норм}}$ перемещения груза от грузоотправителя до грузополучателя [2, 3]. Данное время, как и все в последующем вводимое в работе время, измеряется в сутках (сут.). Условием надлежащей доставки грузов железнодорожным транспортом является не превышение фактическим временем $T_{\text{факт}}$ нормативного времени $T_{\text{норм}}$, а именно $T_{\text{факт}} \leq T_{\text{норм}}$.

При построении методики оценки вероятности своевременной доставки груза необходимо решение следующих задач:

- построение математической модели времени движения груза по всей логистической цепи;
- создание математического аппарата, дающего возможность оценивать вероятность своевременной доставки груза.

Математическая модель времени перевозки груза включает в себя все составляющие времени транспортировки груза в соответствии с логистической цепью. При этом предполагается, что доставка груза от грузоотправителя до грузополучателя происходит по n маршрутам.

Общее время i -го маршрута можно разбить на время следующих трех этапов:

- на начально-конечные операции на станциях i -го маршрута, $T_{\text{нко}}^i$;
- груженный пробег по i -му маршруту, $T_{\text{гр}}^i$;
- проведение отцепочного ремонта в пути следования по i -му маршруту, $T_{\text{рем}}^i$.

Исходя из представления основных этапов движения груза общее время перемещения груза от грузоотправителя до грузополучателя может быть вычислено на следующем соотношении:

$$T_{\text{факт}} = \sum_{i=1}^n T_{\text{нко}}^i + \sum_{i=1}^n T_{\text{гр}}^i + \sum_{i=1}^n T_{\text{рем}}^i.$$

К числу начально-конечных операций на i -м маршруте относят технические и коммерческие осмотры, ожидания подачи транспортных средств, погрузку и выгрузку, перестановку и уборку, оформление перевозочных документов. Соответственно для i -го маршрута вводится время:

- $t_{\text{отк}}^i$ – на технический и коммерческий осмотры по прибытию на станцию;
- $t_{\text{ожп}}^i$ – ожидание подачи транспортных средств;
- $t_{\text{пу}}^i$ – подачу и уборку транспортных средств;
- $t_{\text{выгр}}^i$ – выгрузку из транспортного средства;
- $t_{\text{погр}}^i$ – погрузку вагонов;
- $t_{\text{пер}}^i$ – перестановку вагонов или состава;
- $t_{\text{док}}^i$ – оформление перевозочных документов;
- $t_{\text{ожу}}^i$ – ожидание уборки перевозочных средств;
- $t_{\text{отк}}^i$ – технический и коммерческий осмотры по направлению со станции;
- $t_{\text{ожотпр}}^i$ – ожидание отправления.

С учетом принятых обозначений время, необходимое на начально-конечные операции на пути следования i -го маршрута, можно вычислить по следующей формуле:

$$T_{\text{нко}}^i = t_{\text{отк}}^i + t_{\text{ожп}}^i + t_{\text{пу}}^i + t_{\text{выгр}}^i + t_{\text{погр}}^i + t_{\text{пер}}^i + t_{\text{док}}^i + t_{\text{ожу}}^i + t_{\text{отк}}^i + t_{\text{ожотпр}}^i.$$

Составляющими времени маршрута являются время следования в поездах между техническими станциями $t_{\text{тех}}^i$, время нахождения на технических станциях под переработкой $t_{\text{сп}}^i$ и время нахождения на технических станциях без переработки $t_{\text{бп}}^i$. Тогда формула для определения времени, необходимого на груженный пробег i -го маршрута, будет иметь следующий вид:

$$T_{\text{гр}}^i = t_{\text{тех}}^i + t_{\text{сп}}^i + t_{\text{бп}}^i.$$

Таким образом, математическая модель для определения фактического времени до-

ставки груза между грузоотправителем и грузополучателем будет включать все приведенные составляющие:

$$\begin{aligned}
 T_{\text{факт}} &= \sum_{i=1}^n T_{\text{нко}}^i + T_{\text{гр}}^i + T_{\text{рем}}^i = \\
 &= \sum_{i=1}^n t_{\text{отк}}^i + \sum_{i=1}^n t_{\text{ожп}}^i + \sum_{i=1}^n t_{\text{пу}}^i + \sum_{i=1}^n t_{\text{выгр}}^i + \\
 &\quad + \sum_{i=1}^n t_{\text{погр}}^i + \sum_{i=1}^n t_{\text{пер}}^i + \sum_{i=1}^n t_{\text{док}}^i + \\
 &\quad + \sum_{i=1}^n t_{\text{ожу}}^i + \sum_{i=1}^n t_{\text{отк}}^i + \sum_{i=1}^n t_{\text{ожотпр}}^i + \\
 &\quad + \sum_{i=1}^n t_{\text{тех}}^i + \sum_{i=1}^n t_{\text{сп}}^i + \sum_{i=1}^n t_{\text{бп}}^i + T_{\text{рем}}^i.
 \end{aligned}$$

Следует отметить, что суммируемое время представляет собой случайные величины. Поскольку фактическое время $T_{\text{факт}}$ есть сумма случайных величин, то оно также будет случайной величиной. Анализ большого числа статистических данных по времени доставки грузов на определённое расстояние L показывает, что фактическое время доставки находится в определенном интервале от минимального $T_{\text{факт}}^{\min}$ до максимального $T_{\text{факт}}^{\max}$.

Из теории вероятностей известно, что сумма большого числа слабо зависимых, а тем более независимых случайных величин, подчиненных любым законам распределения, приближенно подчиняется нормальному закону распределения. Очевидно, что данное правило применимо к распределению фактического времени доставки груза между грузоотправителем и грузополучателем, и

тогда плотность распределения фактического времени $f(t)$ (рис. 1) можно записать в виде усеченного нормального закона

$$f(t) = \frac{1}{\gamma \cdot a \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-m)^2}{2 \cdot a^2}\right), \quad t \geq \alpha, \quad (*)$$

где α – левая граница области возможных значений времени доставки груза, за которую можно принимать $T_{\text{факт}}^{\min}$; m – параметр положения; t – переменное значение времени, которое принимает $T_{\text{факт}}$; a – параметр масштаба ($a > 0$).

Число $1 - \gamma$ равно вероятности того, что исходная (неусеченная) случайная величина окажется вне интервала (α, ∞) . Это число называется степенью усечения. Тогда для γ будет справедливым следующее равенство:

$$\gamma = \frac{1}{2} - \Phi_0\left(\frac{\alpha - m}{a}\right).$$

В первом приближении для параметра положения m и параметра масштаба a можно использовать выборочное среднее и выборочную дисперсию. Тогда функция распределения, позволяющая оценить вероятность доставки груза за время не более t (своевременность доставки), будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 F(t) &= P(T_{\text{факт}} < t) = \\
 &= \frac{1}{\gamma} \left\{ \Phi_0\left(\frac{t-m}{a}\right) + \Phi_0\left(\frac{\alpha-m}{a}\right) \right\}.
 \end{aligned}$$

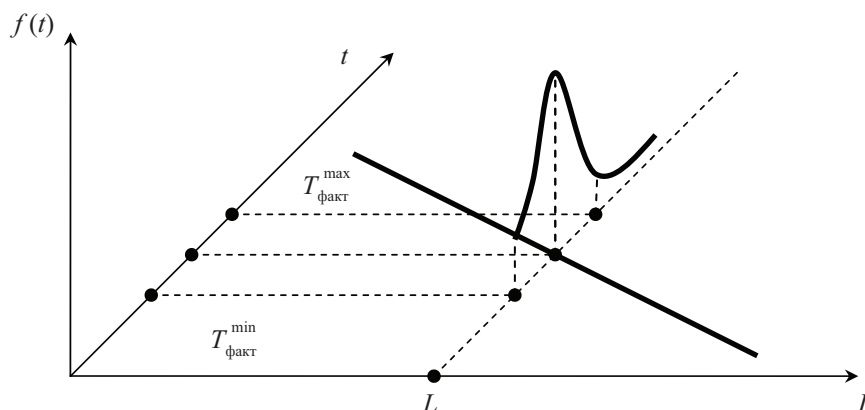


Рис. 1. Плотность распределения фактического времени

В качестве примера по оценке вероятности своевременной доставки груза железнодорожным транспортом использована выборка статистических данных, представленных в табл. 1. Рассматривается время доставки грузов в сутках на расстояние $L = 1150$ км. Число случаев транспортировки груза равно 55.

Для построения плотности распределения вероятности представленный в табл. 1 ряд временных значений доставки груза на расстояние 1150 км преобразован в группированный статистический ряд. Промежуток между наибольшим и наименьшим значениями ряда были разбиты на k равных подпромежутков, число которых должно быть не менее числа, определяемого по следующей формуле Старджесса:

$$k = 1,44 \cdot \ln(n+1) = 1,44 \cdot \ln 56 = 1,44 \cdot 4,025 = 5,79.$$

В табл. 2 представлен сгруппированный статистический ряд, там же приведены про-

межутки и средние значения временного ряда, частоты и частоты (относительные частоты).

Гистограмма относительных частот выборки группированного ряда представлена на рис. 2.

Из анализа гистограммы следует, что плотность относительных частот целесообразно аппроксимировать левосторонним усеченным нормальным законом вида (*). В качестве параметров в первом приближении были приняты следующие величины:

$\alpha = 3,0$ – левая граница выборки времени доставки груза;

$m = 4,38$ – параметр положения, в качестве которого принята оценка математического ожидания;

$a^2 = 0,7$ – параметр масштаба, квадрат величины которого принят равным выборочной дисперсии;

$\gamma = 0,975$ – вероятность того, что неусеченная случайная величина (время доставки) попадет в интервал, который задан выборкой статистических данных.

ТАБЛИЦА 1. Выборка статистических данных

4,206	3,623	3,558	3,925	3,960	5,149	3,825	3,800	4,197	4,604	3,400
4,206	5,435	5,782	5,720	3,414	4,114	2,901	5,142	3,898	3,872	5,402
4,385	3,419	4,604	3,391	4,444	3,752	5,233	3,290	4,090	5,322	3,648
5,149	4,449	3,873	3,530	6,838	4,236	5,009	4,183	4,874	6,349	4,626
4,069	4,179	4,179	5,419	3,592	4,201	4,201	6,678	3,948	4,431	5,119

ТАБЛИЦА 2. Группированный статистический ряд

№ п/п	Временной интервал	Среднее время	Частота	Частоты
1	3,01–3,5	3,25	5	0,09259
2	3,51–4,0	3,75	14	0,25926
3	4,01–4,5	4,25	16	0,2963
4	4,51–5,0	4,75	5	0,09259
5	5,01–5,5	5,25	9	0,16667
6	5,51–6,0	5,75	2	0,03704
7	6,01–6,5	6,25	1	0,01852
8	6,51–7,0	6,75	2	0,03704

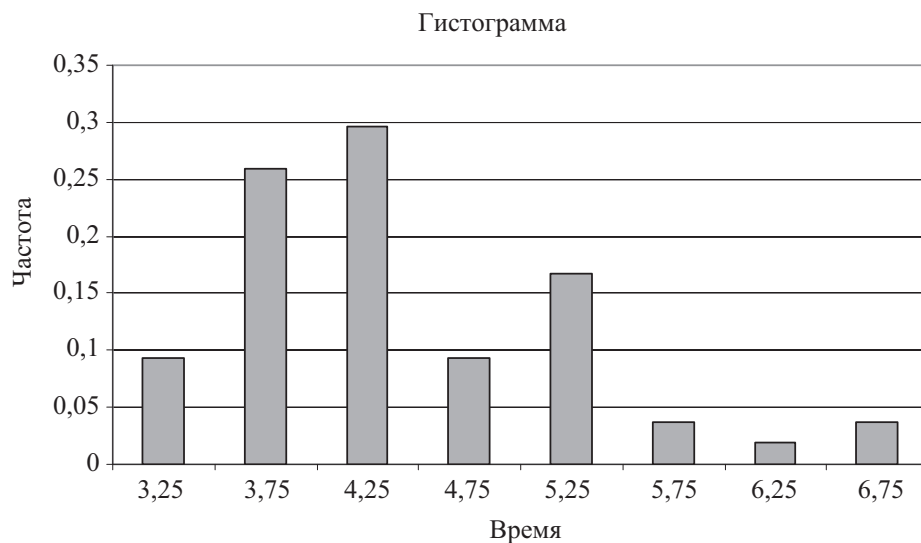


Рис. 2. Гистограмма относительных частот выборки группированного ряда

Плотность вероятности будет иметь следующий вид:

$$f(t) = \frac{1}{0,95 \cdot \sqrt{0,7} \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-4,38)^2}{2 \cdot 0,7}\right).$$

График плотности представлен на рис. 3.

Располагая нормальным законом распределения времени доставки груза, легко определить вероятности доставки груза в заданное время. Так, например, вероятность своевременной доставки груза за время не

выше нормативного времени: $T_{\text{норм}} = 4$ суткам – и определяется по формуле

$$P(t \leq T_{\text{норм}}) = \int_3^4 \frac{1}{0,95 \cdot \sqrt{0,7} \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-4,38)^2}{2 \cdot 0,7}\right) dt = 0,35.$$

Заключение

Таким образом, предложена новая методика оценки вероятности своевременной



Рис. 3. Плотность распределения времени доставки груза

доставки груза железнодорожным транспортом. Определено, что вероятность доставки груза за время большее нормативного времени составляет 0,65.

Библиографический список

1. **Стратегия** развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года : утв. распоряжением Правительства Российской

Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р. – М., 2008.

2. **Российская Федерация.** Законы. О железнодорожном транспорте в Российской Федерации : федер. закон : принят Гос. Думой 10 янв. 2003 г. № 17-ФЗ (с изменениями и дополнениями). – М., 2003.

3. **Правила** исчисления сроков доставки грузов железнодорожным транспортом от 18 июня 2003 г. № 27. – М., 2003.

UDK 620.179.16

E. Schneider

Fraunhofer Institute for Nondestructive Testing

ULTRASONIC EVALUATION OF STRESS STATES OF RIMS OF RAILROAD WHEELS. PART 1 – PRINCIPLES

In order to contribute to the safety of the cargo train traffic the stress state of all block braked wheels have to be tested routinely. An ultrasonic technique was developed and different systems are in use to evaluate the stress state of the rim. The standard DIN EN 13262 describes the technique and the measuring procedure. The measuring principle is based on the acousto-elastic effect, which describes the change of the ultrasonic velocity as function of strain or stress. The relative difference of the times-of-flight of the two shear waves propagating the width of the rim and polarized perpendicular to each other is proportional to the difference of the principal stresses along the circumferential and the radial direction, respectively. The factor of proportionality is a material dependent value, most often abbreviated by k-value. The measuring principle has the advantage of easy to perform measurements and enables a robust ultrasonic measuring technique but it had the restriction that the rim had to be free of texture.

The first part of the paper describes the physical basics and shows the significant change of the circumferential stress in rims after the application of different braking loads. The UER system versions developed by IZFP as well as the Russian version УКОН-01 are shown and described. The second part of the paper informs on the evaluation of the k-value and on a new approach to take the texture of new wheels into account. Using that approach the established systems can also be applied on new wheels with texture. Furthermore, it is suggested to discuss a new criterion to evaluate the measured stress state of braked wheels with regard to the risk of crack growth and wheel break.

railway wheels, rim, residual stress, ultrasonic stress analysis.

Introduction

All traffic becomes faster and cargo trains have to fit into time slots between the high speed passenger trains. Most of the cargo trains are braked by pressing brake shoes onto the tread of the wheels. With increasing speed the braking energy increases quadratic and hence the temperature of the upper part of the rim of the block braked wheels sets also increases.

Due to the heat put in during the braking period and the subsequent cooling tensile stress in the circumferential direction is developed in the rim of the wheel. Cracks in the tread which are not harmful otherwise, may grow under the influence of the circumferential tensile stress and may even cause the failure of the wheel.

A typical distribution of the circumferential (tangential) stress in a cross section of the rim of a used monoblock wheel is given in figure 1 [1].