

УДК 629.4.077-592.117.001.4

Ю.Я. Водяников, А.М. Сафронов, Е.И. Незгодзинская

**ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ
ДОРОГ НА СООТВЕТСТВИЕ НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ С
УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ**

Предложен вероятностный метод оценивания тормозной системы вагонов на соответствие нормативным требованиям. В качестве оценочной величины при принятии решения о соответствии характеристик нормативным требованиям предложено использовать вероятность выхода измеренных значений параметра за нормированную границу в пределах интервала рассеивания, а в качестве критерия - квантили случайных величин с порядком r . Приведен пример оценивания результатов ходовых тормозных испытаний вагона цистерны.

Вопросы гармонизации отечественных и международных стандартов являются актуальными и призваны способствовать повышению конкурентоспособности отечественной продукции и, следовательно, упрощению доступа на европейский рынок.

На решение указанных вопросов направлена система технического регулирования, приведение которой к нормам и стандартам ЕС осуществляется путем решения трех стратегических задач:

1. Адаптация законодательства Украины к требованиям законодательства ЕС;
2. Гармонизация нормативно-правовой базы с международными и европейскими;
3. Модернизация инфраструктуры качества.

Важнейшим этапом для решения поставленных задач является внедрение менеджмента системы качества в соответствии с требованиями ИСО 9001 и ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Это позволит осуществить признание результатов испытаний и калибровки разными странами при условии, что лаборатория работает в соответствии с требованиями указанного стандарта и если она аккредитована органами по аккредитации, которые заключили соглашения о взаимном признании с подобными органами других стран, применяющими настоящий стандарт.

Традиционный подход в оценивании точности измерений основывается на понятии “погрешность измерений”, которое является количественной характеристикой отклонения результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Однако такой подход в анализе и оценке результатов испытаний не в достаточной степени отвечает современным требованиям и сейчас все большего распространения находят вероятностные методы оценивания результатов испытаний, которые базируются на понятии «неопределённость измерений» (или просто «неопределенность») - параметре, который характеризует рассеиванием

© Ю.Я. Водяников, А.М. Сафронов, Е.И. Незгодзинская, 2014

значений и которые обоснованно могли бы быть приписаны измеряемой величине, - новом подходе в оценивании качества измерений [1-3], разработанного по инициативе Международного комитета мер и весов [4] и введен в действие в Украине в 2006 году как ДСТУ-Н РМГ 43-2006 [5].

Тормозная система вагона относится к одной из важнейших составных частей вагона, основной задачей при проектировании является выбор таких ее параметров, которые удовлетворяют действующим требованиям по безопасности движения, тормозной эффективности и требованиям международных стандартов.

В этой связи, актуальное значение приобретают вопросы оценки и анализа результатов экспериментальных исследований тормозной системы вагона и принятия решения о соответствии (несоответствии) ее нормативным требованиям с учетом неопределенности измерений (интервала рассеивания измеряемого параметра).

Принятие решения сопровождается определенной степенью риска, который обусловлен случайным характером измеряемой величины.

Критерием оценки тормозной эффективности вагонов является расчетный коэффициент силы нажатия тормозных колодок (далее тормозной коэффициент). Величина тормозного коэффициента для пассажирских вагонов с композиционными колодками должна составлять не менее 0,28 и 0,3 при скорости 160 км/ч соответственно при электропневматическом и пневматическом торможениях, для грузовых вагонов - 0,14 и 0,22 соответственно в груженом и порожнем состояниях [6].

Кроме того, для допустимых максимальных скоростей движения поездов установлено единое наименьшее тормозное нажатие в пересчете на чугунные колодки на каждые 100 тс веса поезда [7].

Длина тормозного пути пассажирских и грузовых поездов на нормированных спусках (6 % и 10 %) регламентируется инструкцией [8].

Величина тормозного коэффициента имеет ограничения как «снизу», так и «сверху». Ограничение «снизу» обусловлено минимально допустимым значением, исходя из требуемой тормозной эффективности, а «сверху» - недопущением юза (заклинивания колесной пары) при торможении.

Первое ограничение записывается в виде нестрогого неравенства:

$$\delta \geq |\delta|, \quad (1)$$

где $|\delta|$ - нормативное минимальное значение тормозного коэффициента.

Верхняя граница тормозного коэффициента определяется по допустимому коэффициенту сцепления колеса с рельсом $|\psi|_к$, определяется по формуле [1]:

$$|\psi|_к = \psi(q_0) \cdot \psi(V), \quad (2)$$

где $\psi(q_0)$ - коэффициент, зависящий от осевой нагрузки на колесную пару [1]:

$$\psi(q_0) = 0,17 - 0,0015 \cdot (q_0 - 5), \quad (3)$$

$\psi(V)$ - коэффициент, зависящий от скорости движения [1]:

$$\psi(V) = \frac{V + 576}{4 \cdot V + 576}, \quad (4)$$

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

где q_0 - нагрузка на колесную пару (осевая нагрузка) вагона, тс;

V - скорость, км/ч.

Условие недопущения юза является [1]:

$\delta \cdot \varphi_{тр} \leq |\psi_k|$ или с учетом рекомендуемого запаса по юзу

$$\delta \leq 0,85 \cdot \frac{|\psi_k|}{\varphi_{тр}}, \quad (5)$$

где $\varphi_{тр}$ - коэффициент трения накладок для дискового тормоза является постоянной величиной и не зависит от скорости движения при торможении, для композиционных колодок определяется по формуле [9]:

$$\varphi_{тр} = 0,36 \cdot \frac{V+150}{2 \cdot V+150}, \quad (6)$$

Применение вероятностных методов обуславливает получение интервала изменения исследуемого параметра (рис. 1) при принятой доверительной вероятности (0,95 и более).

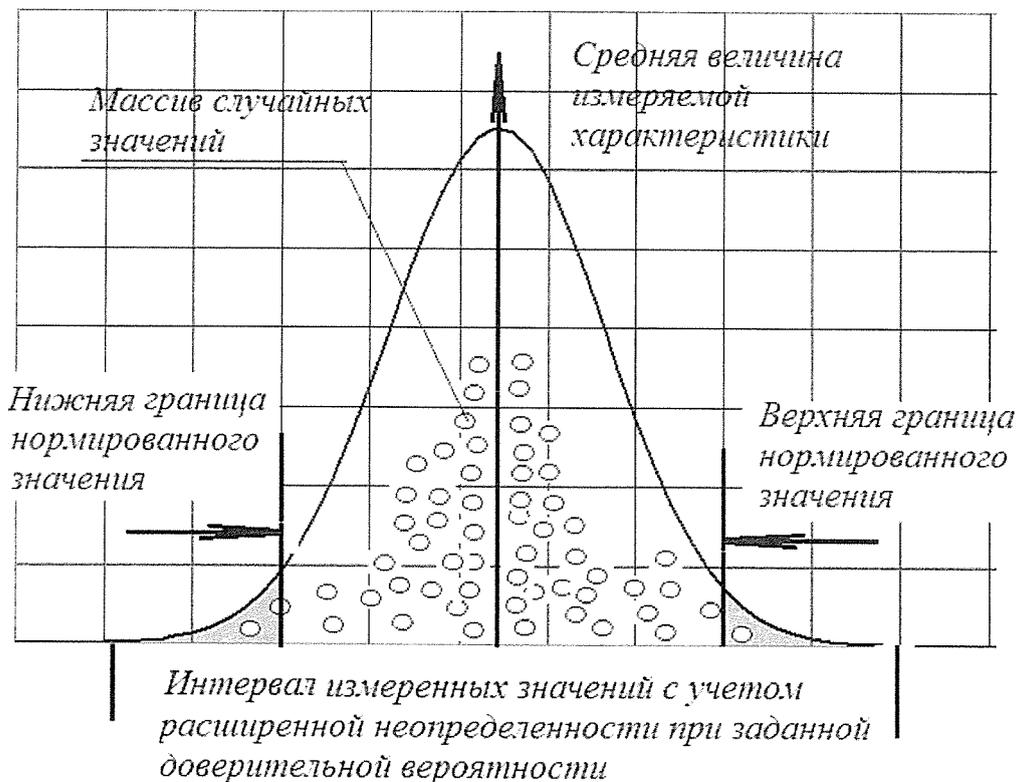


Рис. 1. Рассеивание значений измеряемого параметра

Как следует из приведенного рисунка, часть измеренных значений исследуемой характеристики превышают границы нормированных величин.

В качестве оценки соответствия (не соответствия) определяемой характеристики нормативным требованиям предлагается принимать вероятность выхода измеренных значений за нормированную границу в пределах интервала рассеива-

ния, а в качестве критерия использовать квантили случайных величин с порядком p , (квантиль порядка p одномерного распределения вероятностей есть такое значение x_p случайной величины x , для которого вероятность попадания в интервал $x < x_p$ не превышает p : $P(x < x_p) \leq p$).

Критериальная оценочная величина принимается равной $|p| = 0.05(5\%)$.

Для принятия положительного решения о соответствии исследуемого параметра нормативному значению должны выполняться условия:

- для ограничений снизу:

$$\Pi_{|p|} \geq |\Pi|, \quad (7)$$

где $|\Pi|$ - минимальное допустимое нормативное значение параметра;

$\Pi_{|p|}$ - квантиль распределения порядка $|p|$.

- для ограничений сверху:

$$\Pi_{1-|p|} \geq |\Pi|, \quad (8)$$

где $|\Pi|$ - максимальное допустимое нормативное значение параметра;

$\Pi_{1-|p|}$ - квантиль распределения порядка $1-|p|$.

При определении квантиля распределения полагается, что измеренный массив значений параметра подчиняется нормальному закону распределения [10]:

функция распределения

$$F(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int \exp\left(-\frac{(x - \bar{x})^2}{2 \cdot \sigma^2}\right); \quad (9)$$

плотность вероятности

$$p(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(x - \bar{x})^2}{2 \cdot \sigma^2}\right), \quad (10)$$

где σ - среднеквадратичное отклонение;

x - случайное измеренное значение параметра;

\bar{x} - среднее значение случайной величины.

В формулах (9) и (10) в качестве среднего значения принимается измеренное значение исследуемого параметра, а среднего квадратичного отклонения – одна третья часть величины расширенной неопределенности.

Квантили распределения определяются с применением пакета «Excel» и использованием функции **НОРМОБР**. Функция **НОРМОБР** возвращает квантиль нормального распределения для указанной вероятности, то есть **НОРМОБР** (β , x , σ), для которого $P(\xi < \tau_p) = \beta$, $\xi \in N$ а. σ ,

где β - вероятность принимаемой значимости, $\beta = 0,05$;

\bar{x} ; σ - параметры распределения, входящие в формулы (9) и (10).

Базовый алгоритм расчета неопределенности измерений состоит из таких операций [11]:

- составление модельного уравнения;
- оценивание входных величин, внесения исправлений на известные систематические эффекты;
- оценивание результатов измерений;
- определение стандартной неопределенности входных величин как стандартных среднеквадратичных отклонений;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

- определение коэффициентов чувствительности;
- вычисление вноса неопределенности каждой входной величины в неопределенность величины, которую измеряют;
- определение попарной корреляции входных величин (при необходимости);
- вычисление суммарной стандартной неопределенности измеряемой величины;
- вычисление коэффициента покрытия;
- вычисления расширенной неопределенности величины - интервала результата измерения, в пределах которого, как можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые достаточно обоснованно могли бы быть приписаны измеряемой величине.

Для иллюстрации предложенной методики рассматриваются результаты ходовых тормозных испытаний вагона цистерны в груженом и порожнем состояниях. Рассчитанные значения неопределенности измерений представлены в табл. 1 и 2, а предельное значение тормозного коэффициента по недопущению юза – в табл. 3.

Таблица 1. Результаты вычисления неопределенности измерений тормозного коэффициента для вагона в груженом состоянии

Скорость, км/ч	Тормозной коэффициент				
	Значение	Минимальный	Средний	Максимальный	Среднеквадратическое отклонение
1	2	3	4	5	6
40	0,1616±0,0262 при P=0,95	0,1354	0,1616	0,1879	0,00874
50	0,1554±0,0151 при P=0,95	0,1403	0,1554	0,1705	0,00503
60	0,1523±0,0098 при P=0,95	0,1425	0,1523	0,1622	0,00328
70	0,1510±0,0069 при P=0,95	0,1441	0,1510	0,1580	0,00231
80	0,1508±0,0051 при P=0,95	0,1457	0,1508	0,1560	0,00171
90	0,1509±0,0040 при P=0,95	0,1469	0,1509	0,1549	0,00133
100	0,1511±0,0032 при P=0,95	0,1479	0,1511	0,1543	0,00106
110	0,1515±0,0026 при P=0,95	0,1489	0,1515	0,1541	0,00087
120	0,1520±0,0022 при P=0,95	0,1499	0,1520	0,1542	0,00072

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблица 2. Результаты вычисления неопределенности измерений тормозного коэффициента для вагона в порожнем состоянии

Скорость, км/ч	Тормозной коэффициент				
	Значение	Мини-мальный	Средний	Макси-мальный	Среднеквадратическое отклонение
40	0,3681±0,0579 при P=0,95	0,3102	0,3681	0,4260	0,01930
50	0,3643±0,0367 при P=0,95	0,3276	0,3643	0,4010	0,01222
60	0,3643±0,0256 при P=0,95	0,3387	0,3643	0,3899	0,00853
70	0,3654±0,0189 при P=0,95	0,3465	0,3654	0,3843	0,00631
80	0,3673±0,0146 при P=0,95	0,3527	0,3673	0,3819	0,00487
90	0,3698±0,0117 при P=0,95	0,3581	0,3698	0,3814	0,00389
100	0,3724±0,0096 при P=0,95	0,3628	0,3724	0,3820	0,00319
110	0,3752±0,0080 при P=0,95	0,3672	0,3752	0,3832	0,00267
120	0,3781±0,0068 при P=0,95	0,3713	0,3781	0,3850	0,00227

Таблица 3. Предельное значение тормозного коэффициента при отсутствии юза

V, км/ч	φ_{mp}	$\psi(q_0)$	$\psi(V)$	$ \delta = 0,85 \cdot \frac{\psi(q_0) \cdot \psi(V)}{\varphi_{mp}}$
1	2	3	4	5
40	0,2974	0,1685	0,83696	0,47421
50	0,2880	0,1685	0,80670	0,47198
60	0,2800	0,1685	0,77941	0,46904
70	0,2731	0,1685	0,75467	0,46562
80	0,2671	0,1685	0,73214	0,46188
90	0,2618	0,1685	0,71154	0,45793
100	0,2571	0,1685	0,69262	0,45386
110	0,2530	0,1685	0,67520	0,44973
120	0,2492	0,1685	0,65909	0,44560

Результаты исследования, приведенные в табл. 4 и 5 показывают, что тормозная эффективность (тормозной коэффициент) соответствует нормативным требованиям.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблица 4. Результаты исследования тормозной эффективности вагона цистерны в груженом состоянии

Скорость, км/ч	Нормированное значение тормозного коэффициента	Квантиль тормозного коэффициента	Проверка условия на соответствие	Решение
40	0,14	0,1473	$0,1473 > 0,140$	Соответствует
50	0,14	0,1471	$0,1471 > 0,140$	Соответствует
60	0,14	0,1469	$0,1469 > 0,140$	Соответствует
70	0,14	0,1473	$0,1473 > 0,140$	Соответствует
80	0,14	0,1480	$0,1480 > 0,140$	Соответствует
90	0,14	0,1487	$0,1487 > 0,140$	Соответствует
100	0,14	0,1494	$0,1494 > 0,140$	Соответствует
110	0,14	0,1501	$0,1501 > 0,140$	Соответствует
120	0,14	0,1508	$0,1508 > 0,140$	Соответствует

Таблица 5. Результаты исследования тормозной эффективности вагона цистерны в порожнем состоянии

Скорость, км/ч	Нормированное значение тормозного коэффициента	Квантиль тормозного коэффициента	Проверка условия на соответствие	Решение
1	2	3	4	5
40	0,22	0,336386708	$0,3364 > 0,220$	Соответствует
50	0,22	0,344206819	$0,3442 > 0,220$	Соответствует
60	0,22	0,350310429	$0,3503 > 0,220$	Соответствует
70	0,22	0,355026566	$0,3550 > 0,220$	Соответствует
80	0,22	0,359263363	$0,3593 > 0,220$	Соответствует
90	0,22	0,363374985	$0,3634 > 0,220$	Соответствует
100	0,22	0,36716825	$0,3672 > 0,220$	Соответствует
110	0,22	0,370836337	$0,3708 > 0,220$	Соответствует
120	0,22	0,374400527	$0,3744 > 0,220$	Соответствует

По итогам исследования было установлено, что для скорости 120 км/ч условие на отсутствие юза не выполняется (табл. 6).

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 6. Результати перевірки на безьюзове торможение порожнього вагона

Скорость, км/ч	Допустимое значение тормозного коэффициента	Квантиль тормозного коэффициента	Проверка условия на соответствие	Решение
40	0,40308205	0,399885467	0,3999<0,403	Соответствует
50	0,40117971	0,384402088	0,3844<0,401	Соответствует
60	0,39868304	0,378381154	0,3784<0,399	Соответствует
70	0,39577686	0,375787377	0,3758<0,396	Соответствует
80	0,39259613	0,375278746	0,3753<0,393	Соответствует
90	0,38923995	0,376171662	0,3762<0,389	Соответствует
100	0,38578136	0,377662478	0,3777<0,386	Соответствует
110	0,38227431	0,379617383	0,3796<0,382	Соответствует
120	0,37875859	0,381876846	0,3819>0,379	Не соответствует

Выводы:

Использование вероятностных методов для принятия решения о соответствии тормозной системы вагонов нормативным требованиям позволяет получить уточненную оценку ее характеристик.

Предложенная методика позволяет получить обоснованное решение о соответствии или не соответствии исследуемой характеристики нормативным требованиям, а также оценить степень риска при принятии решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров И.П. Оценка неопределенности измерений при проведении калибровок / И.П. Захаров. – Метрологія та прилади. – 2007. – № 1. – С. 31-42.
2. Чуновкина А.Г. К вопросу внедрения неопределенности измерения в методиках калибровки (поверки) средств измерений / А.Г. Чуновкина. – Измерительная техника. – 2008. – № 3. – С. 70-72.
3. Малецька О.Є. Державна метрологічна система. Розвиток нормативної бази / О.Є. Малецька // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2008. – № 2. – С. 29-31.
4. СТУ-Р УкрАО 913.15:2007 Рекомендації з метрологічного забезпечення випробувальних і калібрувальних лабораторій / Стандарт Асоціації «Українські акредитовані органи з оцінки відповідності» (УкрАО). – К.: Виконавчий орган УкрАО, 2007. – 101 с.
5. ДСТУ-Н РМГ 43-2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43:2001, IDT). – [Чинний від 2007-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 27 с. – (Національний стандарт України).
6. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 260 с.
7. ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015 Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України. – К.: Транспорт України, 2002. -143 с.
8. ЦШ-0001 Інструкція з сигналізації на залізницях України. – К.: ТОВ «Інпрес», 2008. – 160 с.
9. Гребенюк П.Т. Правила тормозных расчетов / П.Т. Гребенюк. - Труды ВНИИЖТ. - М.: Интекст, 2004. – 112 с.
10. Е. Н. Львовский. Статистические методы построения эмпирических формул: Учебное пособие для вузов / Е. Н. Львовский. - М.: Высшая школа, 1988. - 239 с.
11. Шелейко Т.В. Застосування основних положень невизначеності вимірювань для оцінки гальмівної ефективності рухомого складу / Т.В. Шелейко, Ю.Я. Водянніков, С.М. Свистун // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту: Серія «Транспортні системи і технології». - К.: ДЕТУТ, 2012. - Вип. 21. - С. 81-92.