

УДК 629.4.077-592.117.001.4

Ю.Я. Водяников, Т.В. Шелейко, А.М. Сафронов

АВТОМАТИЗАЦІЯ РАСЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ТОРМОЗНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАГОНОВ

Изложен алгоритм расчета неопределенности измерений тормозной эффективности грузовых и пассажирских вагонов по результатам поездных тормозных испытаний. В качестве программного обеспечения использован программный комплекс EXCEL. Программа полностью автоматизирована, в качестве исходных данных используются фактические значения скоростей и тормозных путей, полученных в процессе испытаний.

При испытаниях новых конструкций вагонов важное значение приобретают вопросы анализа и оценки результатов тормозных испытаний и принятия решения о соответствии или несоответствии их нормативным требованиям.

Как правило, тормозная эффективность устанавливается по результатам ходовых тормозных испытаний, основными показателями которых являются:

- тормозные пути поезда в исследуемом диапазоне скоростей;
- тормозной коэффициент (расчетный коэффициент силы нажатия колодок на колеса);
- тормозные пути поезда на нормированных спусках.

Наиболее точным и объективным методом определения тормозной эффективности исследуемого вагона является метод «бросания», при котором разогнанный до заданной скорости вагон автоматически отцепляется от опытного сцепа в момент начала торможения, в то время как сцеп уходит вперед.

Тормозной путь опытного вагона определяется как разность путей локомотива с вагоном лабораторией от точки расцепления до его остановки и обратно до возвращения к испытываемому вагону (рис. 1).



Рис. 1. Определение тормозного пути опытного вагона методом «бросания»

Для определения фактических значений тормозных путей при прямом и обратном движении вагона лаборатории используется специальная программа, входными данными для которой являются сигналы, получаемые от датчика оборотов колес, установленного на оси колесной пары вагона лаборатории (рис. 2).

© Ю.Я. Водяников, Т.В. Шелейко, А.М. Сафронов, 2013

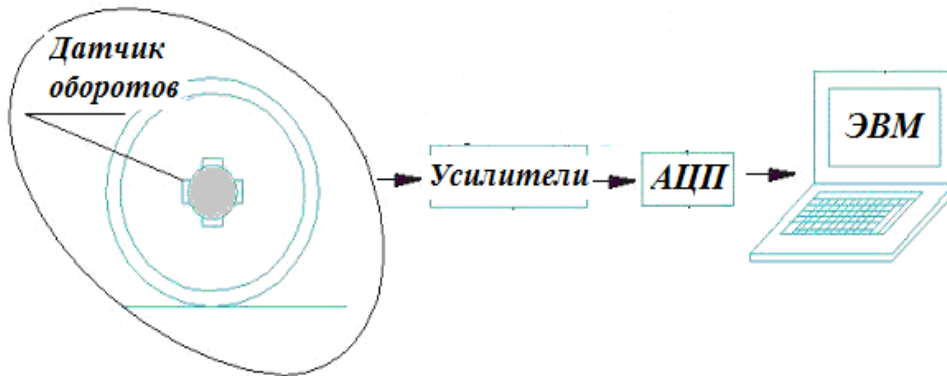


Рис. 2. Схема записи оборотов колеса

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 достаточно отвечает современным требованиям и сейчас все большее распространение получают вероятностные методы оценивания результатов испытаний, которые базируются на понятии «неопределенности измерений» (или просто «неопределенности») - параметре, характеризующем рассеивание значений и которые обоснованно могли бы быть приписаны измеряемой величине.

В этой связи, в одну из актуальных выдвигается задача автоматизации расчета неопределенности измерений исследуемых характеристик. Такая задача может быть решена с использованием средств вычислительной техники.

Вместе с тем следует отметить, что программа, написанная на алгоритмическом языке высокого уровня, представляет собой «черный ящик» и не позволяет проследить всю цепочку промежуточных вычислений.

Указанный недостаток отсутствует у программы «Excel», поэтому эта программа была принята в качестве основной для расчета неопределенности измерений результатов ходовых тормозных испытаний. При написании программы использовались основные положения [1].

Формула для определения стандартной неопределенности тормозного пути вагона на площадке u_S имеет вид [1]:

$$u_S = \sqrt{(l_k \cdot u_{об})^2 + \left(\frac{L_T \cdot m}{l_k \cdot n} \cdot u_1\right)^2 + \left(\frac{L_T \cdot m}{l_k \cdot n} \cdot u_2\right)^2 + \left(\frac{L_T \cdot m}{l_k \cdot n} \cdot u_3\right)^2 + u_A^2}, \quad (1)$$

где L_T – измеренное значение тормозного пути, м;

l_k – длина окружности колеса с установленным датчиком оборотов, м;

$u_{об}$ – стандартная неопределенность измерения оборотов колеса;

u_1 – стандартная неопределенность, обусловленная ценой деления шкалы рулетки;

u_2 – стандартная неопределенность, обусловленная неточностью отметки начала и конца отсчета длины;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

u_3 – стандартная неопределенность, обусловленная систематической ошибкой при измерении длины рулеткой;

n – число оборотов колеса при определении длины окружности;

m – количество отрезков, равных длине рулетки на измеренном пути при определении длины окружности колеса.

Расширенная неопределенность определяется по формуле [2, 3]:

$$U_S = k \cdot u_S, \quad (2)$$

где k – коэффициент охвата, определяемый как коэффициент из распределения Стьюдента для уровня доверия 0,95 и эффективного числа степеней свободы ν_{eff} (формула Велча-Сатерсвейта)

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1} \frac{u^4(x_i)}{\nu_i} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^4}, \quad (3)$$

u_c – суммарная стандартная неопределенность входной величины;

ν_i – число степеней свободы для i -ой входной величины;

$u(x_i)$ – стандартная неопределенность для i -ой входной величины;

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$ – коэффициент чувствительности для i -ой входной величины.

Стандартная неопределенность расчетного коэффициента силы нажатия композиционных колодок u_δ определяется по формуле:

$$u_\delta = \frac{\partial \delta}{\partial S} = d \cdot c \cdot S^{d-1} \cdot u_S, \quad (4)$$

где, c и d – коэффициенты уравнения выравнивания экспериментальных данных,

$$\delta(V_0) = c(V_0) \cdot S(V_0)^{d(V)}, \quad (5)$$

$\delta(V_0)$ – расчетный коэффициент силы нажатия тормозных колодок, который при применении метода бросания, определяется функциональной зависимостью от скорости движения в начальный момент торможения V_0 и соответствующей ей величины тормозного пути S грузового поезда (тормозного пути одиночного вагона, пересчитанного на поезд).

Для расчета тормозного пути поезда на спусках 6 ‰ и 10 ‰ используется формула [4]:

$$S(i_c) = \frac{V_0 \cdot t_n}{3,6} + \sum \frac{4,17 \cdot (V_n^2 - V_k^2)}{1000 \cdot \delta \cdot \varphi_{mp} + W_{ox} + i_c}, \quad (6)$$

где i_c – спуск, ‰;

V_i и V_ϵ – начальная и конечная скорость в принятом расчетном интервале скоростей, км/ч;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

t_n – время подготовки автотормозов к действию, с;
 φ_{mp} – расчетный коэффициент трения тормозных колодок;
 W_{ox} – удельное основное сопротивление движению, кгс/т.

Неопределенность тормозного пути вагона в составе поезда на нормированных спусках зависит от расчетного коэффициента силы нажатия. Дифференцируя модельное уравнение (6) по δ , получим:

$$u_{S(i)} = \sum \frac{4,17 \cdot (V_n^2 - V_k^2) \cdot \varphi_{mp}}{(1000 \cdot \delta \cdot \varphi_{mp} + W_{ox} + i_c)^2} \cdot u_\delta \cdot 1000 \quad , \quad (7)$$

где $\sum \frac{4,17 \cdot (V_n^2 - V_k^2) \cdot \varphi_{mp}}{(1000 \cdot \delta \cdot \varphi_{mp} + W_{ox} + i_c)^2}$ – коэффициент чувствительности.

Бюджетные таблицы расчета неопределенности измерений формировались на украинском языке для использования в отчетных документах.

Программа состоит из отдельных взаимосвязанных блоков (листов).

Функциональное назначение блоков:

Блок 1 (рис. 3)

- задание измеренных значений скоростей и тормозных путей;
- определение коэффициентов для аналитического уравнения линии регрессии методом наименьших квадратов;
- построение графика линии регрессии;

Блок 2 (рис. 4)

- пересчет тормозного пути одиночного вагона на поезд длиной 200 осей;
- определение тормозных коэффициентов при композиционных колодках, а также в пересчете на чугунные колодки;

Блок 3 (рис. 5)

- задание характеристик средств измерений;
- расчет стандартной неопределенности тормозного пути одиночного вагона на площадке.

Блок 4 (рис. 6)

Определение коэффициентов чувствительности для расчета неопределенности тормозного пути поезда на спусках.

Блок 5 (рис. 7)

Расчет тормозного пути грузового поезда на нормированных спусках.

Блок 6 (рис. 8)

Формирование бюджетной таблицы неопределенности измерений тормозного пути грузового поезда на площадке.

Блок 7 (рис. 9)

Формирование бюджетной таблицы неопределенности измерений тормозных коэффициентов.

Блок 8 (рис. 10)

Формирование бюджетной таблицы неопределенности измерений тормозного пути грузового поезда на нормированных спусках.

Блок 9 (рис. 11)

Формирование итоговых таблиц расчета неопределенности измерений.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Характеристики применяемых средств измерений			Стандартная неопределенность тормозного пути одиночного вагона						
Excel	1	число импульсов, получаемых от датчика за один оборот колеса	2	Excel	№ опыта	Скорость, км/ч	$S_{изм}$	$S_{уровн} = a \cdot V^2 + b$	$(S_{изм} - S_{уровн})^2$
	2	шкала рулетки	0,001		1	44,02	210,76	195,9439162	219,5163383
	3	Ошибка начала и конца измерения	0,01		2	62,73	375,00	381,9178456	47,85658719
	4	Системная ошибка	0,00165		3	79,36	595,94	596,6381924	7,280242144
	5	путь колеса, измеренный рулеткой	30		4	115,12	1212,22	1228,577724	267,5751363
	6	Количество оборотов колеса	10		5	117,70	1317,60	1282,681151	1219,326028
	7	длина окружности колеса, 5/6	3		6	79,97	591,57	607,5077792	254,012807
	8	Длина рулетки	10		7	45,75	217,30	210,5695921	45,29839102
	9	Количество отрезков равных длине рулетки на измеренном пути	3		8	65,88	406,98	419,2530856	150,6286306
			9		101,71	933,15	966,1269401	1087,47858	
			10		119,04	1315,41	1311,240974	17,38077416	
			11		104,76	1020,36	1023,054656	7,261170389	
			12		80,58	607,56	616,4424799	78,89844979	
			13		44,20	212,21	197,4412517	218,1159258	
			14		63,11	402,62	386,3296819	265,3744622	
			15	96,11	883,73	865,8421832	319,973991		
							4,35696551		

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (S_i - (a \cdot V_i^2 + b \cdot V_i))^2}{k \cdot (k - 1)}}$$

Рис. 3. Блок 1

Пересчет тормозного пути одиночного вагона на поезд			Определение тормозных коэффициентов								
Время подготовки тормозов, с			Композиционные колодки			Чуунные колодки					
$S_{уровн} = a \cdot V^2 + b \cdot V$			$S_{поезд} = S_{уровн} + \frac{V_o \cdot t_n}{3,6}$			$\delta_k = c \cdot S^{-d}$			$\delta_v = \beta \cdot c \cdot S^{-d}$		
Excel	Скорость, км/ч	Тормозной путь одиночного вагона	Тормозной путь в пересчете на поезд	скор	путь	коэф с	коэф d	α_k	коэф β	α_v	
	40	163,9807	197,3140	40	197	3404,2	-1,8661	0,177	2,1173	0,376	
	50	248,7234	290,3901	50	290	2415,3	-1,6806	0,175	2,2339	0,392	
	60	350,9651	400,9651	60	401	2084,5	-1,5661	0,175	2,3333	0,408	
	70	470,7059	529,0392	70	529	1915,7	-1,4831	0,175	2,4148	0,423	
	80	607,9457	674,6123	80	675	1828,9	-1,4198	0,176	2,4914	0,438	
	90	762,6845	837,6845	90	838	1833,1	-1,3736	0,177	2,555	0,452	
	100	934,9223	1018,2556	100	1018	1888,8	-1,3384	0,178	2,6108	0,465	
	110	1124,6591	1216,3258	110	1216	1967,8	-1,3098	0,179	2,66	0,477	
	120	1331,8949	1431,8949	120	1432	2080,1	-1,2872	0,180	2,7037	0,487	
			Среднее значение тормозного коэффициента			0,177		0,435			

Рис. 4. Блок 2

Характеристики применяемых средств измерений			Стандартная неопределенность тормозного пути одиночного вагона						
Excel	1	число импульсов, получаемых от датчика за один оборот колеса	2	Excel	№ опыта	Скорость, км/ч	$S_{изм}$	$S_{уровн} = a \cdot V^2 + b$	$(S_{изм} - S_{уровн})^2$
	2	шкала рулетки	0,001		1	44,02	210,76	195,9439162	219,5163383
	3	Ошибка начала и конца измерения	0,01		2	62,73	375,00	381,9178456	47,85658719
	4	Системная ошибка	0,00165		3	79,36	595,94	596,6381924	7,280242144
	5	путь колеса, измеренный рулеткой	30		4	115,12	1212,22	1228,577724	267,5751363
	6	Количество оборотов колеса	10		5	117,70	1317,60	1282,681151	1219,326028
	7	длина окружности колеса, 5/6	3		6	79,97	591,57	607,5077792	254,012807
	8	Длина рулетки	10		7	45,75	217,30	210,5695921	45,29839102
	9	Количество отрезков равных длине рулетки на измеренном пути	3		8	65,88	406,98	419,2530856	150,6286306
			9		101,71	933,15	966,1269401	1087,47858	
			10		119,04	1315,41	1311,240974	17,38077416	
			11		104,76	1020,36	1023,054656	7,261170389	
			12		80,58	607,56	616,4424799	78,89844979	
			13		44,20	212,21	197,4412517	218,1159258	
			14		63,11	402,62	386,3296819	265,3744622	
			15	96,11	883,73	865,8421832	319,973991		
							4,35696551		

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (S_i - (a \cdot V_i^2 + b \cdot V_i))^2}{k \cdot (k - 1)}}$$

Рис. 5. Блок 3

РЕЙКОВОЙ РУХОМОЙ СКЛАД

Использованные формулы

$$\sum \frac{4,17 \cdot (V_n^2 - V_{n+1}^2) \cdot \phi_{mp}}{(1000 \cdot \delta_p \cdot \phi_{mp} + W_{ox} + i_c)^2}$$

$$\phi_{mp} = 0,36 \cdot \frac{V+150}{2 \cdot V+150}$$

скорость 80 км/ч						Excel					
0	фн	23,5	0,175994	с	%	0	фн	23,5	0,175994	с	%
5	0,354194	0,175994	62,33666	0,837766	-6	11,219554					
10	0,343636	0,175994	60,47805	0,861117	-6	15,603796	46,39973	68,68999			
15	0,334286	0,175994	58,83239	0,88883	-6	60,37768	106,1668	101,1628			
20	0,325446	0,175994	57,36464	0,90746	-6	87,00797	153,7748	138,4745			
25	0,318462	0,175994	56,01513	0,96916	-6	114,898	208,8208	184,9791			
30	0,311707	0,175994	54,86872	0,97374	-6	143,8669	452,4397	519,8874			
35	0,305581	0,175994	53,7688	1,04201	-6	173,74193	628,1615	705,8066			
40	0,3	0,175994	52,7983	1,090967	-6	204,5551	830,7375	921,142			
45	0,294894	0,175994	51,99211	1,144749	-6	236,1491	1056,987	1198,838			
50	0,290204	0,175994	51,47428	1,201596	-6	268,4256	1338,312	1448,851			
55	0,286282	0,175994	50,31368	1,263298	-6	301,2549	1636,687	1761,771			
60	0,282887	0,175994	49,18163	1,32925	-6	334,80769	1971,718	2108,122			
65	0,279182	0,175994	48,0642	1,394468	-6	368,4707	2339,748	2488,265			
70	0,274737	0,175994	46,9213	1,47306	-6	402,8713	2742,366	2902,605			
75	0,270525	0,175994	47,76684	1,55606	-6	437,0326	3179,391	3351,39			
80	0,268525	0,175994	47,25881	1,636338	-6	471,8488	3651,048	3834,818			

Рис. 6. Блок 4

Использованные формулы

$$S_n(t) = \frac{V_n \cdot t_n}{3,6} + \sum \frac{4,17 \cdot (V_n^2 - V_{n+1}^2)}{1000 \cdot \delta_p \cdot \phi_{mp} + W_{ox} + i_c}$$

$$t_n = 7 - \frac{10 \cdot i_c}{b_m}$$

$$\phi_{mp} = 0,36 \cdot \frac{V+150}{2 \cdot V+150}$$

скорость 80 км/ч						Excel					
0	фн	23,5	0,175994	с	%	0	фн	23,5	0,175994	с	%
5	0,354194	0,175994	62,33666	0,837766	-6	1,823389					
10	0,343636	0,175994	60,47805	0,861117	-6	5,651507	7,474894	29,67516			
15	0,334286	0,175994	58,83239	0,88883	-6	9,792893	17,7776	50,58379			
20	0,325446	0,175994	57,36464	0,90746	-6	13,87061	31,13621	75,83449			
25	0,318462	0,175994	56,01513	0,96916	-6	18,39445	49,53031	105,5756			
30	0,311707	0,175994	54,86872	0,97374	-6	23,0121	72,51352	139,3792			
35	0,305581	0,175994	53,7688	1,04201	-6	27,9866	106,2902	178,9923			
40	0,3	0,175994	52,7983	1,090967	-6	32,8536	139,8436	223,3481			
45	0,294894	0,175994	51,99211	1,144749	-6	37,07231	170,616	272,567			
50	0,290204	0,175994	51,47428	1,201596	-6	40,83412	201,4532	316,6167			
55	0,286282	0,175994	50,31368	1,263298	-6	44,17322	232,5651	359,1586			
60	0,282887	0,175994	49,18163	1,32925	-6	47,09431	263,5488	401,6317			
65	0,279182	0,175994	48,0642	1,394468	-6	50,0074	294,403	444,146			
70	0,274737	0,175994	46,9213	1,47306	-6	52,9544	325,1362	486,7023			
75	0,270525	0,175994	47,76684	1,55606	-6	55,9244	355,7503	529,3196			
80	0,268525	0,175994	47,25881	1,636338	-6	58,9192	386,3471	571,9992			

Рис. 7. Блок 5

Программа позволяет полностью автоматизировать расчет неопределенности измерений тормозной эффективности грузовых и пассажирских вагонов. Для этого достаточно данные, полученные в результате ходовых тормозных испытаний, занести в блок 1.

Для формирования отчета или протокола испытаний бюджетные и итоговые таблицы копируются в текстовый документ.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 1 - Бюджет невизначеності вимірювання гальмового шляху вагона при планованому екстремальному гальмуванні на площині та швидкості 40 км/год							
Вихідна величина							
Невизначеність, яка обумовлена виміря кількості оборотів колеса	Цінка вхідної величини	Стандартна невизначеність	Число ступенів свободи	Задіяні імовірностей вхідної величини	Коефіцієнт чувливості	Внесок невизначеності	
2	1,1547	∞		Рівномірний	3,0000	3,4641	
Невизначеність виміру, яка обумовлена шкалою рулетки	0,001	0,0003	∞	Рівномірний	16,3981	0,0047	
Невизначеність виміру, яка обумовлена не точністю оцінки початку і кінця виміру	0,01	0,0058	∞	Рівномірний	16,3981	0,0047	
Невизначеність виміру, яка обумовлена довжиною рулетки	0,00165	0,0010	∞	Рівномірний	16,3981	0,0156	
Невизначеність, яка обумовлена побудовою графіка	4,3570	15		Нормальний	1,0000	4,3570	
Вихідна величина							
Цінка вихідної величини	стандартна невизначеність	число ступенів с		Рівень довіри	Коефіцієнт покриття	Розширена невизначеність	
197	5,5671	39,98206549		0,95	2,0227	11,26	
Excel							
Таблиця 2 - Бюджет невизначеності вимірювання гальмового шляху вагона при планованому екстремальному гальмуванні на площині та швидкості 50 км/год							
Вихідна величина							
2	1,1547	∞		Рівномірний	3,0000	3,4641	
0,001	0,0003	∞		Рівномірний	24,8723	0,0072	
0,01	0,0058	∞		Рівномірний	24,8723	0,1436	
0,00165	0,0010	∞		Рівномірний	24,8723	0,0237	
4,3570	15			Нормальний	1,0000	4,3570	
Вихідна величина							
290	5,5682	40,01298432		0,95	2,0211	11,25	
Excel							
Таблиця 3 - Бюджет невизначеності вимірювання гальмового шляху вагона при планованому екстремальному гальмуванні на площині та швидкості 60 км/год							
Вихідна величина							
2	1,1547	∞		Рівномірний	3,0000	3,4641	
0,001	0,0003	∞		Рівномірний	35,0965	0,0101	
0,01	0,0058	∞		Рівномірний	35,0965	0,2026	
0,00165	0,0010	∞		Рівномірний	35,0965	0,0334	
4,3570	15			Нормальний	1,0000	4,3570	
Вихідна величина							
351	5,5700	40,66732301		0,95	2,0211	11,26	
Excel							
Таблиця 4 - Бюджет невизначеності вимірювання гальмового шляху вагона при планованому екстремальному гальмуванні на площині та швидкості 70 км/год							
Вихідна величина							
2	1,1547	∞		Рівномірний	3,0000	3,4641	
0,001	0,0003	∞		Рівномірний	47,0706	0,0136	
0,01	0,0058	∞		Рівномірний	47,0706	0,2718	
0,00165	0,0010	∞		Рівномірний	47,0706	0,0448	
4,3570	15			Нормальний	1,0000	4,3570	
Вихідна величина							
529	5,5731	40,15495979		0,95	2,0211	11,26	
Excel							
Таблиця 5 - Бюджет невизначеності вимірювання гальмового шляху вагона при планованому екстремальному гальмуванні на площині та швидкості 80 км/год							
Вихідна величина							
2	1,1547	∞		Рівномірний	3,0000	3,4641	
0,001	0,0003	∞		Рівномірний	60,7946	0,0175	
0,01	0,0058	∞		Рівномірний	60,7946	0,3510	
0,00165	0,0010	∞		Рівномірний	60,7946	0,0579	
4,3570	15			Нормальний	1,0000	4,3570	
Вихідна величина							
675	5,5776	40,28608535		0,95	2,0211	11,27	
Excel							
Таблиця 6 - Бюджет невизначеності вимірювання гальмового шляху вагона при планованому екстремальному гальмуванні на площині та швидкості 90 км/год							
Вихідна величина							
2	1,1547	∞		Рівномірний	3,0000	3,4641	
0,001	0,0003	∞		Рівномірний	76,2684	0,0220	
0,01	0,0058	∞		Рівномірний	76,2684	0,4403	
0,00165	0,0010	∞		Рівномірний	76,2684	0,0727	
4,3570	15			Нормальний	1,0000	4,3570	
Вихідна величина							
838	5,5842	40,47484633		0,95	2,0211	11,29	
Excel							
Таблиця 7 - Бюджет невизначеності вимірювання гальмового шляху вагона при планованому екстремальному гальмуванні на площині та швидкості 100 км/год							
Вихідна величина							
2	1,1547	∞		Рівномірний	3,0000	3,4641	
0,001	0,0003	∞		Рівномірний	93,4922	0,0270	
0,01	0,0058	∞		Рівномірний	93,4922	0,5398	
0,00165	0,0010	∞		Рівномірний	93,4922	0,0891	
4,3570	15			Нормальний	1,0000	4,3570	
Вихідна величина							
1018	5,5931	40,73580029		0,95	2,0211	11,30	
Excel							
Таблиця 8 - Бюджет невизначеності вимірювання гальмового шляху вагона при планованому екстремальному гальмуванні на площині та швидкості 110 км/год							
Вихідна величина							
2	1,1547	∞		Рівномірний	3,0000	3,4641	
0,001	0,0003	∞		Рівномірний	112,4659	0,0326	
0,01	0,0058	∞		Рівномірний	112,4659	0,6493	
0,00165	0,0010	∞		Рівномірний	112,4659	0,1071	
4,3570	15			Нормальний	1,0000	4,3570	
Вихідна величина							
1216	5,6051	41,08587129		0,95	2,0195	11,32	
Excel							
Таблиця 9 - Бюджет невизначеності вимірювання гальмового шляху вагона при планованому екстремальному гальмуванні на площині та швидкості 120 км/год							
Вихідна величина							
2	1,1547	∞		Рівномірний	3,0000	3,4641	
0,001	0,0003	∞		Рівномірний	133,1895	0,0384	
0,01	0,0058	∞		Рівномірний	133,1895	0,7690	
0,00165	0,0010	∞		Рівномірний	133,1895	0,1269	
4,3570	15			Нормальний	1,0000	4,3570	
Вихідна величина							
1432	5,6207	41,54417239		0,95	2,0195	11,35	

$$U_c = \sqrt{\sum_i M_i^2}$$

$$v_{eff} = \frac{\sum_i u^2(x_i) \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2}{\sum_i v_i}$$

$$K$$

$$K \cdot U_c$$

Рис. 8. Блок 6

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Результаты расчета неопределенности измерений			Тормозная эффективность вагона			
Скорость, км/ч	Тормозной путь поезда на площадке	Тормозной коэффициент	Тормозной путь на площадке			
			Минимальный	Средний	Максимальный	
40	197,3±11,3 при P=0,95	0,1774±0,0187 при P=0,95	40	186,1	197,3	208,6
50	290,4±11,3 при P=0,95	0,1753±0,0113 при P=0,95	50	279,1	290,4	301,6
60	401,0±11,3 при P=0,95	0,1747±0,0076 при P=0,95	60	389,7	401,0	412,2
70	529,0±11,3 при P=0,95	0,1750±0,0055 при P=0,95	70	517,8	529,0	540,3
80	674,6±11,3 при P=0,95	0,1760±0,0041 при P=0,95	80	663,3	674,6	685,9
90	837,7±11,3 при P=0,95	0,1770±0,0032 при P=0,95	90	826,4	837,7	849,0
100	1018,3±11,3 при P=0,95	0,1780±0,0026 при P=0,95	100	1007,0	1018,3	1029,6
110	1216,3±11,3 при P=0,95	0,1791±0,0022 при P=0,95	110	1205,0	1216,3	1227,6
120	1431,9±11,4 при P=0,95	0,1802±0,0018 при P=0,95	120	1420,5	1431,9	1443,2
Тормозные пути поезда на спусках			Тормозной коэффициент			
Скорость, км/ч	Величина спуск	Тормозной путь	40	0,1587	0,1774	0,1961
			50	0,1640	0,1753	0,1866
80	- 6 ‰	766,7±15,1 при P=0,95	60	0,1671	0,1747	0,1823
90	- 6 ‰	952,9±15,0 при P=0,95	70	0,1696	0,1750	0,1805
100	- 6 ‰	1159,8±15,0 при P=0,95	80	0,1719	0,1760	0,1801
80	- 10 ‰	818,0±18,1 при P=0,95	90	0,1738	0,1770	0,1803
90	- 10 ‰	1009,3±18,1 при P=0,95	100	0,1754	0,1780	0,1806
			110	0,1770	0,1791	0,1813
			120	0,1784	0,1802	0,1820
Допускаемые пути на уклонах (инстр. ЦШ/001)			Тормозной путь на спусках			
			На уклоне - 6 ‰			
Скорость, км/ч	уклон 6 ‰		80	751,6	766,7	781,7
	800	1000	90	937,8	952,9	967,9
	90	1100	100	1144,8	1159,8	1174,8
Скорость, км/ч	уклон 10 ‰		На уклоне -10 ‰			
	1000	1200	80	799,9	818,0	836,1
	90	1300	90	991,2	1009,3	1027,4

Рис. 11. Блок 9

ЛИТЕРАТУРА

- Шелейко Т.В. Застосування основних положень невизначеності вимірювань для оцінки гальмівної ефективності рухомого складу / Т.В. Шелейко, Ю.Я. Водянніков, С.М. Свистун // Державний економіко-технологічний університет транспорту. Збірник наукових праць серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2012. – Вип. 21. – С. 81-92.
- Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First Edition. – ISO, Switzerland, 1993. – 101 p.
- ДСТУ-Н РМГ 43-2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43:2001, ИДТ). – [Чинний від 2007-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 27 с. – (Національний стандарт України).
- Гребенюк П.Т. Правила тормозных расчетов / П.Т. Гребенюк // Труды ВНИИЖТ. – М.: Интекст, 2004. – 112 с.