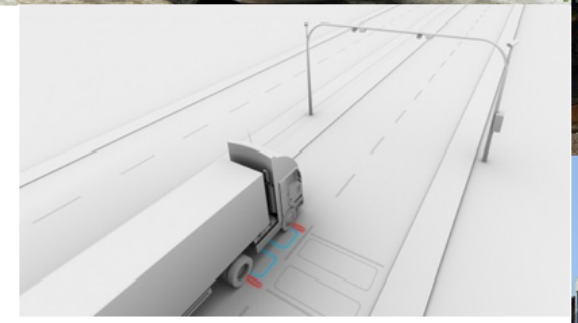


Нормирование погрешности измерений весовых параметров транспортных средств

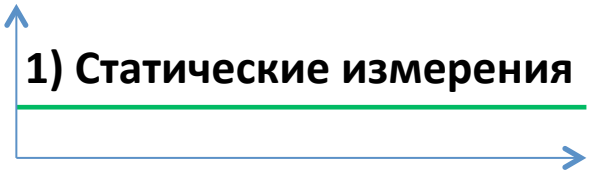
Вдовин Владимир Александрович
☎ +7(918)557-92-20
✉ wdowin@mail.ru

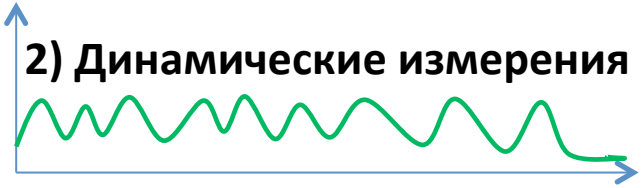
Введение

В настоящее время применительно к транспортным средствам, с целью обеспечения безопасности движения и сохранности дорог, актуальным является определение не только массы транспортных средств, но и нагрузок на дорогу от его частей (от каждого колеса, оси, группы осей). Совокупность этих измеряемых величин принято называть **весовыми параметрами транспортного средства** (далее ТС).

Классификация весов для измерения весовых параметров ТС

два основных режима:





СИ, пригодные для определения весовых параметров ТС:

А) Весы статические (или как теперь модно говорить "неавтоматического действия")

Б) Весы динамические (или "автоматического действия")

В) Весы комбинированные, которые позволяют определять весовые параметры ТС как в режиме статических, так и динамических измерений.

По конструкции грузоприемных устройств весы можно разделить на:

a) Стационарно установленные весы платформенного (мостового) типа, конструкция грузоприемного устройства которых вмещает ТС целиком
b) Стационарно установленные весы платформенного (мостового) типа, конструкция грузоприемного устройства которых целиком вмещает только части ТС (ось или группу осей), а определение массы ТС происходит путем последовательного измерения его частей с последующим суммированием результатов измерений
c) Стационарно вмонтированные в дорожную одежду датчики (STRING WIM) принцип действия которых основан на НЕПРЯМЫХ измерениях нагрузок на дорожное покрытие от колес ТС
d) Нестационарные переносные (подкладные или встраиваемые в дорожную одежду) грузоприемные устройства, применяемые для измерения нагрузки от колеса ТС

Нестационарные переносные системы взвешивания не являются предметом обсуждения в данном исследовании.

Нормативные документы, устанавливающие требования к средствам измерений массы

ГОСТ 8.021- 2015 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений массы»

В режиме статических измерений массы

грузов целиком расположенных на ГПУ применяются следующие стандарты:

с 1994 года ***ГОСТ 29329-92 "Весы для статического взвешивания. Общие технические требования"***
с 2008 года заменен на ***ГОСТ 53228-2008 "Национальный стандарт РФ. Весы неавтоматического действия. Метрологические и технические требования. Испытания"***
с 2013 года заменен на ***ГОСТ OIML R 76-1-2011 "Государственная система обеспечения единства измерений. Весы неавтоматического действия. Метрологические и технические требования. Испытания"***
В данных стандартах сохраняется преемственность в части нормирования погрешности измерений.

В режиме динамических измерений массы

ТС, **исключая массы его частей**
с 1998 года ***ГОСТ 30414-96 "Межгосударственный стандарт. Весы для взвешивания транспортных средств в движении. Общие технические требования"***
дополнительно с 2003 года:
ГОСТ 8.603-2003 "Национальный стандарт РФ. ГСИ. Весы для взвешивания автотранспортных средств в движении. Методика поверки"
ГОСТ Р 8.598-2003 "Национальный стандарт РФ ГСИ. Весы для взвешивания железнодорожных транспортных средств в движении. Методика поверки"
с 2016 года в части взвешивания железнодорожных ТС взамен ГОСТ 30414-96 и ГОСТ Р 8.598-2003 вводится
ГОСТ 8.647-2015 " Межгосударственный стандарт. ГСИ. Весы вагонные автоматические. Метрологические и технические требования. Методы испытаний."
Данный стандарт основан на рекомендациях OIML R 106-1:2011 и сохраняет преемственность с ГОСТ 30414-96 в части нормирования погрешности измерений (ряд классов точности расширен. введен класс точности 5)

Все, приведенные выше, нормативные документы не устанавливают метрологические требования к результатам измерений нагрузок от частей ТС (колеса, оси, группы осей) и к рабочим диапазонам скоростей.

В части взвешивания автотранспортных средств в движении взамен ГОСТ 30414-96 и ГОСТ Р 8.603-2003 разработаны следующие стандарты:

ГОСТ 33242-2015 «Весы автоматические для взвешивания транспортных средств в движении и измерения нагрузок на оси. Метрологические и технические требования. Испытания»

ГОСТ 8.646-2015 «Весы автоматические для взвешивания транспортных средств в движении и измерения нагрузок на оси. Методика поверки»

Данные стандарты основаны на рекомендациях OIML R 134-1 и не имеет никакой преемственности с ГОСТ 30414-96. Однако, в данных стандартах впервые вводится понятие нагрузки от частей ТС, как измеряемой величины, и устанавливается примерное соотношение между погрешностью измерений осевых нагрузок (нагрузок от группы осей) и массы ТС.

OIML R 134-1:2006 (E)

2.2.1.2.2 Maximum permissible deviation (MPD) for all reference vehicle types except the two-axle rigid reference vehicle

For all reference vehicle types except the two-axle rigid reference vehicle, the maximum difference between any indicated single-axle load or, if required, any axle-group load recorded during in-motion tests and the corrected mean single-axle load (6.10) or the corrected mean axle-group load (6.11), respectively, shall be one of the following values, whichever is the greater:

a) The value from Table 4 rounded to the nearest scale interval;

b) 1 $d \times n$ in the case of initial verification,

2 $d \times n$ in the case of in-service inspection,

Where n is the number of axles in the group, with $n = 1$ for single axles.

Table 4

Accuracy class for single-axle load and axle-group load	Percentage of the corrected mean single-axle load or corrected mean axle-group load	
	Initial verification	In-service inspection
A	±0.50 %	±1.00 %
B	±1.00 %	±2.00 %
C	±1.50 %	±3.00 %
D	±2.00 %	±4.00 %
E	±4.00 %	±8.00 %
F	±8.00 %	±16.00 %

For determining single-axle load and, if required axle-group load, WIM instruments are divided into six accuracy classes as shown below:

A B C D E F

Note 1: WIM instruments may have different accuracy classes for single-axle load and axle-group load.

Note 2: The limitation of accuracy classes to certain applications may be determined by national regulation.

2.1.3 Relationship between accuracy classes

The relationship between the accuracy classes for single-axle load and, if required, axle-group load and the accuracy classes for vehicle mass are as specified in Table 1 below.

Table 1

Accuracy class single-axle load and axle-group load	Accuracy class for vehicle mass					
	0.2	0.5	1	2	5	10
A	✓	✓				
B	✓	✓	✓			
C		✓	✓	✓		
D			✓	✓	✓	
E				✓	✓	✓
F						✓

Следует отметить, что к OIML R 134-1 сразу возникает масса вопросов, и это тема отдельного исследования.

Например, как можно, измеряя осевые нагрузки ТС с погрешностью 8%, умудриться его массу определить с погрешностью 10%?

Кроме рекомендаций OIML R 134-1 в международной практике применяются и другие нормативные документы:

В США, Канаде и ряде других стран в качестве основного нормативного документа используют ***ASTM E 1318-09 "Стандартные технические требования к дорожным системам динамического взвешивания, включая требования к условиям эксплуатации и методы испытания"***

Данные технические условия относятся к компетенции Американского общества по испытанию материалов, комитет E17 по транспортным системам, и находятся в непосредственном ведении подкомитета E17.52 по транспортному контролю. Первоначальное принятие документа в 1990 году.

В ASTM E 1318-09 установлены соотношения, представленные в таблице 2 (номер таблицы соответствует тексту ASTM E 1318-09)

Таблица 2. Требования к эксплуатационным характеристикам систем динамического взвешивания

Функция	Допустимое отклонение при 95% соответствии [A]				
	Тип I	Тип II	Тип III	Тип IV	
				Значение ≥, фунты (килограммы)[B]	± фунты (килограммы)
Масса колеса	±25%		±20%	5000 (2300)	300 (100)
Масса оси	±20%	±30%	±15%	12000 (5400)	500 (200)
Масса группы осей	±15%	±20%	±10%	25000 (11300)	1200 (500)
Вес брутто	±10%	±15%	±6%	60000 (27200)	2500 (1100)
Скорость	±1 миля в час (2 км/час)				
Расстояние между осями и колесная база	±0,5 футов (0,15 м)				

A – 95% соответствующих данных, рассчитанных системой динамического взвешивания, должны соответствовать указанным отклонениям.

B – нижний предел обычно не имеет значения при регулировке движения

В европейских странах и в зоне их влияния распространен документ COST 323 «Взвешивание транспортных средств в движении. Окончательный отчет. Спецификация для систем взвешивания в движении в Европе». Этот документ составлен Управляющим комитетом COST 323 в рамках Транспортного плана COST«WIM-LOAD». Он основывается на опыте стран-членов COST323, США и существующих национальных спецификациях (METT-LCPC, 1993)и (NWML, 1995). Тем не менее, в настоящее время в Европе нет официальных стандартов для систем взвешивания в движении.

В COST 323 установлены соотношения, представленные в таблице 5 (номер таблицы соответствует тексту COST 323)

Таблица 5: Допуски для классов точности (δв %)

Критерий (тип измерений)	Сфера применения	Класс точности Ширина доверительного интервала δ(%)						
		A(5)	B+(7)	B(10)	C(15)	D+(20)	D(25)	E
1. Общий вес	Общий вес >3.5т	5	7	10	15	20	25	>25
Нагрузка на ось:	Осевая нагрузка >1т							
1. группу осей		7	10	13	18	23	28	>28
1. одиночную ось		8	11	15	20	25	30	>30
1. ось группы		10	14	20	25		35	>35
Скорость	V > 30км/ч(1)	2	3	4	6	8	10	>10
Расстояние между осями		2	3	4	6	8	10	>10
Общий поток		1	1	1	3	4	5	>5

(1)Эти условия используются только для датчиков/систем, которые не работают в статичном положении или при низких скоростях движения.

Из анализа представленных соотношений между погрешностью массы ТС и его частей следует сделать вывод, что по крайней мере в OIML R 134-1, ASTM E 1318-09 и COST 323 однообразия в подходах к нормированию погрешности измерений не наблюдается. Более того некоторые производители систем взвешивания для своих изделий указывают одновременно соответствие как ASTM E 1318-09, так и COST 323.

Как такое может быть, чтобы одно и то же изделие в Америке имело одни значения допускаемой погрешности, а в Европе другие? В чем отличие? В дорогах или в конструкции ТС? Ответ на эти вопросы скрывается под понятием КЛАСС ТОЧНОСТИ

В соответствии с п. 7.5 РМГ29-2013

КЛАСС ТОЧНОСТИ: **Обобщенная характеристика данного типа средств измерений**, как правило, отражающая их уровень точности и выражаемая точностными характеристиками средств измерений.

Примечания

1 Класс точности обычно обозначается числом или символом, принятым по соглашению.

2 Класс точности дает возможность судить о значениях инструментальных погрешностей или инструментальных неопределенностей средств измерений данного типа при выполнении измерений.

3 Класс точности применяется и к материальным мерам.

Таким образом, для приборов соответствующего класса точности могут быть установлены различные пределы погрешности измерений для различных интервалов диапазона измерений как, например в OIML R 76 или OIML R 106, так и для разных объектов измерений как, например, в ГОСТ 30414-96.

Следует отметить, что определение класса точности весов для взвешивания ТС в движении в COST 323 и в ASTM E 1318-09 осуществляется на основании результатов испытаний с использованием **типичных** транспортных средств. Например, **в COST 323 предлагается в качестве контрольного ТС применять двухосный или трехосный грузовик** (п. 7.2.1.4), а **в ASTM E 1318-09 упор делается на ТС имеющее 5 осей с полуприцепом** класс 09 (3S2) по Американской классификации (п. 7.1.3.1 таблица 5). Отсюда возникают разные требования к пределам погрешности измерений.

Детально разобраться в данном вопросе можно используя модель погрешности измерений весовых параметров ТС

Модель погрешности измерений при взвешивании ТС по частям

1 Математическая модель погрешности измерений

1.1 Используем положения рекомендации по метрологии Р 50.2.38-2004 "ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений". В общем виде результат измерений массы ТС по частям можно представить в виде выражения (1)

$$M + \Delta \pm U_M = \sum_{i=1}^{N} I_i \pm k_o \cdot \sqrt{u_A^2 + u_B^2}\ , \quad (1)$$

где: *M* - результат измерения массы ТС при взвешивании по частям, Δ - систематическая погрешность, U_M - расширенная неопределенность результата измерений массы, I_i - результаты прямых измерений *i*-той части из *N*частей ТС, k_o - коэффициент охвата равен 2 при доверительной вероятности р=0,95 и равен 3 при р=0,99, u_A - неопределенность измерения массы, оцениваемая по типу А, u_B - неопределенность измерения массы оцениваемая по типу В.

Стандартная неопределенность измерений массы, оцениваемой по типу А может быть получена как на основании данных серии измерений массы контрольного ТС, так и на основании оценки результатов прямых измерений по формуле (2), если считать, что нет корреляционных связей между результатами измерений частей ТС.

$$u_A = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} u_{i,A}^2}\ ,(2)$$

где: $u_{i,A}$ - стандартная неопределенность результата прямых измерений *i*-той части из *N*частей ТС

Стандартную неопределенность измерений массы, оцениваемой по типу В, можно вычислить по формуле (3)

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \Theta_i^2 / 3}\ ,(3)$$

где: Θ_i - неисключенная систематическая погрешность прямых измерений *i*-той части из *N*частей ТС, заданная границами, и по сути является инструментальной погрешностью грузоприемного устройства весов.

1.2 Следует отметить, что осевые нагрузки неподвижного ТС и в движении – разные измеряемые величины. Как правило, в качестве опорных значений осевых нагрузок принимают значения, полученные в режиме статических измерений, как воспроизводимые величины. При взвешивании в режиме динамических измерений, возникают систематические отклонения от опорных значений осевых нагрузок, полученных при взвешивании в режиме статических измерений, это связано с перераспределением нагрузок между осями из-за крутящего момента трансмиссии, преодолевающего силы трения качения колес. Поэтому, если за опорные значения осевых нагрузок приняты значения, полученные в режиме статических измерений то **по отношению к осевым нагрузкам в движении вместо допускаемой погрешности измерений более корректно говорить о допускаемом отклонении**.

1.3 Очевидно, что формулы 1 - 3 применимы для анализа результатов измерений одного и того же контрольного ТС, однако для оценки погрешности средства измерений следует применять несколько различных контрольных ТС, в том числе с различной массой.

Предположим, что проводятся однократные взвешивания нескольких однотипных контрольных ТС. Пусть для каждого измерения определены значения относительной погрешности измерений массы ТС и относительного отклонения нагрузок его частей δ_j, тогда можно для данного средства измерений оценить систематическую и случайную относительную погрешность средства измерений. Систематическая относительная погрешность (отклонение) равна среднему арифметическому значений относительной погрешности (4)

$$\delta = \sum_{j=1}^{K} \delta_j / K \quad (4)$$

где: δ - Среднее арифметическое относительной погрешности измерений массы или относительного отклонения частей однотипных ТС, δ_j - значение относительной погрешности измерений массы или частей однотипных ТС для *j*- того измерения из *K* однократных измерений однотипных ТС.

Если в результате регулировки средства измерений систематическую погрешность (отклонение) не удается свести к нулю, то δ следует считать оценкой неисключенной систематической погрешности. Как правило, данная оценка имеет различные значения для частей однотипных ТС и может восприниматься как случайная величина.

Случайную составляющую относительной погрешности оценим как неопределенность по типу А по формуле

$$u_{\delta,A} = \sqrt{\sum_{j=1}^{K} (\delta_j - \delta)^2 / K - 1}, \quad (5)$$

Стандартную относительную неопределенность измерений, оцениваемой по типу В, можно вычислить по формуле (6)

$$u_{\delta,B} = 1/I_i \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \Theta_i^2 / 3}, \quad (6)$$

Пределы относительной погрешности измерений определим как сумму модуля систематического относительного отклонения и расширенной неопределенности

$$\delta = \pm (|\delta| + k_o \cdot 1/I_i \sqrt{(I_i \cdot u_{\delta,A})^2 + (I_i \cdot u_{\delta,B})^2}) = \pm (|\delta| + k_o \cdot \sqrt{u_{\delta,A}^2 + u_{\delta,B}^2}), \quad (7)$$

Коэффициент k_o выбираем исходя из доверительной вероятности для границ погрешности.
В большинстве случаев, (особенно если отсутствует возможность определить опорные значения нагрузок от частей с достаточной точностью), вместо выражения (7) целесообразно использовать выражение (8), введя вместо оценки систематического отклонения осевых нагрузок ТС поправочный коэффициент k = 1,1

$$\delta = \pm k \cdot k_o \cdot \sqrt{u_{\delta,A}^2 + u_{\delta,B}^2},$$

2 Соотношения между погрешностью измерений массы ТС и его частей

2.1 Как правило погрешность измерений осевых нагрузок и нагрузок от группы осей зависит от состояния дорожного покрытия в зоне взвешивания и от конструкции подвески ТС. Поскольку следует рассчитывать, что системы взвешивания будут применяться для взвешивания любых ТС, то пределы погрешности измерений осевых нагрузок (нагрузок от группы осей) не должны зависеть от типа ТС, а пределы погрешности измерений массы ТС могут отличаться в зависимости от числа осей, или от конструкции ТС.

2.2 Выражение для оценки относительной погрешности массы ТС можно представить в виде

$$\delta_M = \pm k \cdot k_o / M \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (u_{i,A}^2 + \Theta_i^2 / 3)} \ ,$$

где: i – индекс, соответствующий порядковому номеру оси (части) ТС), N – число осей (частей) ТС.

Если предварительно для серий измерений ТС была оценена относительная неопределенность осевых нагрузок по формуле (5), как обобщенная характеристика, тогда выражение (9) можно представить в виде

$$\delta_M = \pm k \cdot k_o / M \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{N} ((I_i \cdot u_{\delta,i,A})^2 + \Theta_i^2 / 3)} \ , \qquad (10)$$

Для каждого взвешивания ТС в движении должно контролироваться ускорение (торможение), и другие влияющие величины. Если влияющие факторы не выходят за пределы рабочего диапазона, то может быть вычислено расчетное значение δ_M погрешности массы ТС и в качестве пределов погрешности измерений выбрано ближайшее большее **стандартное значение предела погрешности измерений,** например, из ряда значений в соответствии с рекомендациями OIML R - 134-1, COST 323 или ASTM E 1318-09.

2.3 Следует обратить внимание на то, что при оценке погрешности измерений массы ТС систематические отклонения осевых нагрузок при суммировании должны учитываться с учетом знака, так как причиной возникновения отклонений является перераспределение нагрузок между осями и на результат измерения массы ТС влиять не должны, однако данное утверждение действительно только для систем взвешивания, регулировка которых может быть проведена в режиме статических измерений с использованием эталонных грузов в соответствии с ГОСТ OIML R 76-1-2011, когда систематическая инструментальная погрешность может быть сведена до минимальных значений, но и в этом случае остается некоторая составляющая систематической погрешности, связанная с неровностью зоны взвешивания.
Для систем взвешивания, регулировка которых осуществляется с помощью контрольных ТС при взвешивании в движении, систематическая погрешность (4) может быть связана с низкой точностью регулировки и иметь существенное значение. Систематическая погрешность в этом случае должна учитываться алгебраически.

2.4 Необходимое количество контрольных ТС для оценки погрешности средства измерений можно определить исходя из известной русской пословицы "семь раз отмерь...", которой вероятно и воспользовались американские инженеры при разработке ASTM E 1318-09, правда потом забыли об этой пословице.
Как следует из требований ASTM E 1318-09, для определения погрешности средства измерений необходимо провести однократные оценки относительной погрешности измерений как минимум **семи однотипных ТС.** Итого получим не менее **49 взвешиваний**. Если к этим ТС добавить **два различных ТС, которые взвешивают многократно, то получим в общей сложности 51 ТС**, которые должны участвовать в оценке метрологических характеристик систем взвешивания.
При выборе контрольных ТС следует учитывать наиболее часто встречающиеся типы ТС.

3 Использование модели погрешности измерений в СДК.Ам

3.1 Данный алгоритм оценки погрешности измерений применен в Системах дорожного контроля измерительных СДК.Ам производства фирмы "Тензор" и подтвержден испытаниями в целях утверждения типа, проведенными ВНИИМС в 2013 году (свидетельство об утверждении типа № 51469 в госреестре**№15389-13**).

3.2 В модели погрешности измерений, принятой для СДК.Ам, границы неисключенной систематической погрешности измерений осевых нагрузок Θ_i вычисляют по формуле

$$\Theta_i = I_i \cdot \Delta\delta_i ,$$

где: $\Delta\delta_i$ - границы относительной НСП.

Для СДК.Ам приняты следующие значения $\Delta\delta_i$:

в интервале осевых нагрузок, т:

1,5 ≤ I≤ 3 $\Delta\delta_i = 0{,}0133$,

3 <*I* ≤ 6 $\Delta\delta_i = 0{,}01$,

6 <*I* ≤ 20 $\Delta\delta_i = 0{,}0066$.

3.3 Диапазон ускорений ТС, при которых погрешности результатов измерений не превышают расчетные значение ±0,6 м/с^2

4 Сравнение модели погрешности измерений с требованиями к соотношениям между погрешностью измерений массы и частей ТС, установленными в OIML R 134-1, COST 323 и ASTM E1318-09

4.1 На основании формулы (10) для типовых ТС можно построить графики зависимости погрешности измерений массы от погрешности измерений его частей.

Для построения зависимостей погрешности измерений осевых нагрузок и массы ТС примем упрощенную модель ТС. Пусть все осевые нагрузки ТС равны между собой и составляют, например 8000 кг. В большинстве случаев это допущение имеет место, так как производители стремятся конструировать ТС так, чтобы при номинальной загрузке вес ТС распределялся по осям равномерно. Расчет произведем для ТС с числом осей 2, 3, 4, 5 и 6.

Считая, что случайная и систематическая составляющие погрешности измерений осевых нагрузок одинаковы для каждой оси, получим из выражения (10)

$$\delta_M = \pm k \cdot k_o / M \cdot \sqrt{((I \cdot \blacksquare u_{\delta,A})^2 + (I \cdot \blacksquare \delta)^2 / 3)} \cdot N, \quad (10.1)$$

Относительная погрешность измерений осевой нагрузки

$$\delta_I = \pm k \cdot k_o / I \cdot \sqrt{((I \cdot \blacksquare u_{\delta,A})^2 + (I \cdot \blacksquare \delta)^2 / 3)} \quad (10.2)$$

где: $\blacksquare \delta$ - границы относительной НСП

Результаты расчетов представим в виде диаграммы и в виде таблицы в зависимости от случайной составляющей относительной погрешности осевой нагрузки $\blacksquare u_{\delta,A}$. По сути, данная оценка характеризует качество измерения.

4.2 Модель погрешности измерений массы и осевых нагрузок ТС, учитывающая систематическую инструментальную погрешность, может быть представлена формулами

$$\delta_M = \pm (k \cdot k_o \cdot \sqrt{((I \cdot \blacksquare u_{\delta,A})^2 + (I \cdot \blacksquare \delta)^2 / 3)} \cdot N + N \cdot I \cdot \delta_{sist}) / M, \quad (10.3)$$

Относительная погрешность измерений осевой нагрузки

$$\delta_I = \pm (k \cdot k_o \cdot \sqrt{((I \cdot \blacksquare u_{\delta,A})^2 + (I \cdot \blacksquare \delta)^2 / 3)} \blacksquare + I \cdot \delta_{sist}) / I, \quad (10.4)$$

где: $\delta\downarrow sist$ - систематическая относительная инструментальная погрешность, вызванная неточностью регулировки, δ - неисключенная относительная систематическая погрешность.

Построим график зависимости погрешности измерений массы ТС и осевых нагрузок для 2, 3, 4, 5 и 6-осных ТС, и представим данные расчетов в виде таблицы в зависимости от неопределенности осевой нагрузки $\blacksquare u$ $\downarrow\delta,A$. По сути, данная оценка характеризует качество измерения.

Для СДК.Ам

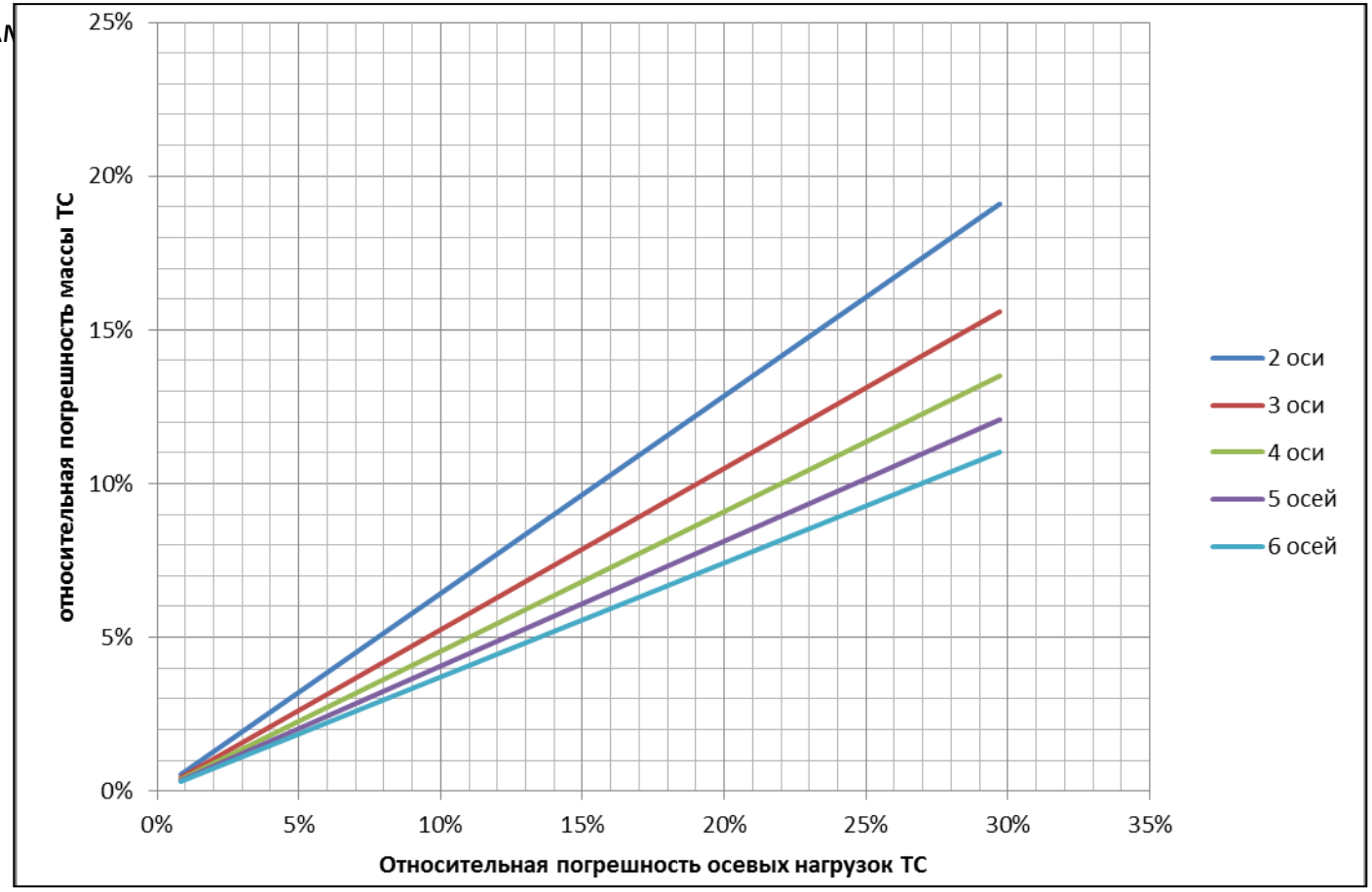


Диаграмма 1. Погрешности измерений массы ТС
в зависимости от погрешности измерений осевых нагрузок для СДК.Ам.

Таблица 1. Соотношения для погрешностей измерений, в соответствии с моделью измерений для СДК.Ам.

Случайная составляющая относительной погрешности осевых нагрузок, $\blacksquare u \downarrow \delta, A$,%	Относительная погрешность осевых нагрузок	Относительная погрешность массы ТС в зависимости от числа осей				
		2	3	4	5	6
1	2%	2%	1%	1%	1%	1%
1,5	3%	2%	2%	2%	1%	1%
2	4%	3%	2%	2%	2%	2%
2,5	6%	4%	3%	3%	2%	2%
3	7%	4%	3%	3%	3%	2%
3,5	8%	5%	4%	4%	3%	3%
4	9%	6%	5%	4%	4%	3%
4,5	10%	6%	5%	5%	4%	4%
5	11%	7%	6%	5%	4%	4%
5,5	12%	8%	6%	6%	5%	5%
6,5	14%	9%	8%	7%	6%	5%
7	15%	10%	8%	7%	6%	6%
7,25	16%	10%	8%	7%	6%	6%
9	20%	13%	10%	9%	8%	7%
11,5	25%	16%	13%	12%	10%	9%
13,5	30%	19%	16%	14%	12%	11%

В таблице выделены: синим цветом, ячейки со значениями погрешности, соответствующими OIML R 134-1; шрифтом красного цвета, ячейки со значениями погрешности, соответствующими COST 323; зеленым цветом, ячейки со значениями погрешности, соответствующими ASTM E 1318-09.

Следует отметить, что соотношения для классов точности A(5), B+(7) и B(10) совпадают с представленной моделью погрешности измерений, для двухосных ТС. Расхождения в соотношениях между моделью погрешности и COST 323 для классов точности C(15), D+(20) и D(25) связаны с неисключенной составляющей систематической погрешности, которая должна учитываться алгебраически, что было подтверждено расчетами в рамках данной модели. Соотношения для систем взвешивания типа III совпадают с моделью погрешности измерений, для ТС с пятью осями. Расхождения в соотношениях между моделью погрешности и ASTM E 1318-09 для систем взвешивания типа I и типа II также связаны с неисключенной составляющей систематической погрешности, которая должна учитываться алгебраически, и что также было подтверждено расчетами в рамках данной модели.

4.3 Модель погрешности измерений, представленная формулами (10.1), (10.2) предполагает, что инструментальная погрешность измерений сведена к минимальным значениям при регулировке гирями. Для систем взвешивания не имеющим такую возможность остается высокая вероятность провести регулировку со значительной систематической погрешностью. Это связано с тем, что регулировка проводится с помощью контрольных ТС в движении и может содержать систематическую погрешность соизмеримую с неопределенностью измерений. Дополнительным источником погрешности является неравномерность чувствительности датчиков. Так например производитель датчиков KistlerLineas® quartz weigh-in-motion sensor type 9195E. В спецификации указывает следующее:
Planning of a WIM Station Type 9195E. **Performance over the total sensor length at delivery.** Kistler guarantees that all delivered Lineas sensors have a uniform sensitivity within +/-3 % over the length of the sensor. One channel usually consists of 2 sensors which are paired according to their sensitivity and have an uniformity of approx. +/-3 % overthewidthofthewholemeasuringchannel.
Фактическая неравномерность чувствительности датчиков в эксплуатации по некоторым оценкам может достигать 8% и более.

4.4 Для расчетов используем выражения (10.3) и (10.4). Где принимаем $\delta\downarrow sist$ = 2.5% (половина минимальной погрешности измерений массы по ASTM E 1318-09). Учитывая, что в ASTM E 1318-09 требуется проверка чувствительности датчиков, которая не должна превышать 2%, а производителем допускается 3% принимаем относительную НСП так же δ = 2,5%, тогда расчетные соотношения погрешностей измерений представим в таблице 2

Таблица 2. Соотношения для погрешностей измерений, в соответствии с моделью измерений для WIM систем с учетом систематической инструментальной погрешности.

Относительное СКО осевых нагрузок	Относительная погрешность оси	Относительная погрешность массы ТС в зависимости от числа осей				
		2	3	4	5	6
5,5	15%	11%	10%	9%	8%	8%
6	16%	12%	10%	9%	9%	8%
6,5	17%	13%	11%	10%	9%	8%
7	18%	14%	12%	10%	10%	9%
7,5	19%	14%	12%	11%	10%	9%
8	20%	15%	13%	11%	10%	10%
8,5	21%	16%	13%	12%	11%	10%
9	23%	17%	14%	13%	11%	11%
9,5	24%	17%	15%	13%	12%	11%
10	25%	18%	15%	14%	12%	12%
10,5	26%	19%	16%	14%	13%	12%
11	27%	20%	17%	15%	13%	12%
11,5	28%	21%	17%	15%	14%	13%
12	29%	21%	18%	16%	14%	13%
12,5	30%	22%	18%	16%	15%	14%

Как видно из таблицы модель погрешности измерений, учитывающая систематическую инструментальную погрешность совпадает с требованиями для систем взвешивания типа I и типа II по ASTM E 1318-09 и классу точности C(15) по COST 323.

Для систем взвешивания по COST 323 по сравнению с ASTM E 1318-09 характерно большая систематическая погрешность, так как для регулировки применяются двух и трехосные ТС вместо пятиосных. Соответственно при равных случайных составляющих погрешности измерений осевых нагрузок систематические погрешности оказываются выше. Рассчитаем соотношения погрешностей для класса точности D+(20) принимая систематическую инструментальную погрешность $\delta\downarrow sist$ = 10% (1/2 от допускаемой погрешности измерений массы) и относительную НСП δ = 3% (в соответствии с данными производителя датчиков).

Таблица 3. Соотношения для погрешностей измерений, в соответствии с моделью измерений для WIM систем с учетом систематической инструментальной погрешности для класса точности D+(20) по COST 323

Относительное СКО осевых нагрузок	Относительная погрешность оси	Относительная погрешность массы ТС в зависимости от числа осей				
		2	3	4	5	6
4	20%	17%	16%	15%	14%	14%
4,5	21%	18%	16%	15%	15%	14%
5	22%	18%	17%	16%	15%	15%
5,5	23%	19%	17%	16%	16%	15%
6	24%	20%	18%	17%	16%	16%
6,5	25%	20%	19%	17%	17%	16%
7	26%	21%	19%	18%	17%	16%
7,5	27%	22%	20%	18%	18%	17%
8	28%	23%	20%	19%	18%	17%
8,5	29%	23%	21%	20%	19%	18%
9	30%	24%	22%	20%	19%	18%

Рассчитаем соотношения погрешностей для класса точности D(25) принимая систематическую инструментальную погрешность $\delta\downarrow sist$ = 12,5% (1/2 от погрешности измерений массы) и относительную НСП δ = 8% (в соответствии с данными испытаний датчиков в условиях эксплуатации).

Таблица 4. Соотношения для погрешностей измерений, в соответствии с моделью измерений для WIM систем с учетом систематической инструментальной погрешности для класса точности D(25) по COST 323

Относительное СКО осевых нагрузок	Относительная погрешность оси	Относительная погрешность массы ТС в зависимости от числа осей				
		2	3	4	5	6
3,5	25%	22%	20%	19%	18%	18%
4	26%	22%	20%	19%	19%	18%
4,5	27%	23%	21%	20%	19%	18%
5	27%	23%	21%	20%	19%	19%
5,5	28%	24%	22%	20%	20%	19%
6	29%	24%	22%	21%	20%	19%
6,5	30%	25%	23%	21%	20%	20%
7	31%	26%	23%	22%	21%	20%
7,5	32%	26%	24%	22%	21%	20%
8	33%	27%	24%	23%	22%	21%

5 Выводы

5.1 Следует заметить, что "Тензор" накопил за 20 лет реальной эксплуатации систем взвешивания достаточное количество данных для подтверждения правильности подхода к нормированию погрешностей измерений.

Наш опыт показывает, что основной причиной погрешности измерений является неровность дорожного покрытия в зоне взвешивания, и нет оснований считать, что одиночные оси и оси в составе группы осей имеют разные условия взвешивания и соответственно погрешности измерений. Наиболее вероятной причиной появления повышенных пределов погрешности измерений осевых нагрузок в составе группы осей в COST 323 является повышенная погрешность определения опорных значений осевых нагрузок в составе группы осей. Ведь, как правило, поблизости со станциями WIM нет стационарных весов для поосного взвешивания, да и не каждые, даже стационарные, весы обеспечивают корректное измерений осевых нагрузок в группе. Поэтому при оценке погрешности WIM как правило применялись подкладные весы для которых фактическая погрешность измерений осевых нагрузок ТС в составе группы осей может достигать 4%. Вот откуда и появились различные оценки пределов погрешности измерений для одиночных осей и осей в группе.

В целом документы COST 323 и ASTM E 1318-09 дают верную картину погрешности измерений весовых параметров ТС с помощью станций WIM в рамках методик оценки погрешности, принятых в этих документах. Наивысшая точность может быть достигнута на новых системах взвешивания, но в эксплуатации как правило требуется «приземление», так как точность измерений стремительно падает с ухудшением качества дорожного покрытия в зоне взвешивания.

Что касается OIML R 134-1, то создается впечатление, что данный документ разрабатывали товарищи, не выходя из кабинета, которые ни разу не видели ни сами весы, ни ТС для которых они предназначены. И это не юмор. Результаты испытаний с двухосным автомобилем могут быть положительными только с игрушечным автомобилем на жестких колесах: пластмассовых, а лучше металлических. И катиться такой автомобиль через игрушечные весы должен накатом. Опыт подобных «испытаний» имеется.

PS

Внимательно рассматривая рекламные материалы фирм - производителей систем взвешивания я наткнулся на проспект фирмы Traffic Data Sistems, которая с немецкой педантичностью указывает метрологические характеристики в соответствии с требованиями OIML R 134-1. И как вы видите пределы погрешности измерений массы ТС в эксплуатации составляет ±10%. И это пожалуй лучшее, на что подобные системы способны.

Hamburg
Notkestrasse 13
22607 Hamburg
Germany
Phone: +49-40-5280 09-0
Fax: +49-40-5280 09-12

Dresden
Gostritzer Strasse 63
01217 Dresden
Germany
Phone: +49-351-871-8199
Fax: +49-351-871-8111

info@traffic-data-systems.com
www.traffic-data-systems.com

Traffic Data Systems
Innovative Technologies

Distributor:

©TDS 04/2015

TECHNICAL DATA

WIM-DSP 32

Voltage	24VDC ±20 %
Current consumption (typical) @ 24V	150 mA incl. 4 charge amplifiers 5163A108
Temperature range (WIM-DSP 32)	-25/+70 °C
Protection class (EN60529)	IP67
Dimensions (L × W × D)	214 mm × 64 mm × 45 mm (without connectors and fixing clamps)
Fixing (EN50045)	TS 35 (top-hat rail)
Weight	0.8 kg (without cables)
Measuring range (axle loads)	0 … 50 t
Speed range (total)	5 … 254 km/h
Speed range for Weigh in Motion (axle loads)	5 … 120 km/h
Conformity assessment in accordance with OIML R134	in process
Weight measurement accuracy (confidence level)	95%
Measuring error with 6 sensors/lane and one sensor installed at an angle	±5% (initial verification); ±10% (in-service inspection) (depending on quality and flatness of carriageway)
Number of measuring channels	32
Charge amplifier	Kistler 5163A104 or 5163A108
Lineas sensor with charge output	Kistler 9195GC

Спасибо за внимание !

Вдовин Владимир Александрович
☎ +7(918)557-92-20
✉ wdowin@mail.ru