

ЭТАЛОНЫ

Научная статья
УДК 006.91:681.26:621.317.089.68
<https://doi.org/10.20915/2077-1177-2022-18-3-5-16>



Требования к эталонам единицы силы, применяемым для поверки большегрузных весов

И. Ю. Шмигельский ✉, Д. В. Андреев, А. Ф. Остривной, В. В. Сычев

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева», Санкт-Петербург, Россия
✉ i.y.shmigelskiy@vniim.ru

Аннотация: В данной статье рассматривается проблема поверки большегрузных весов существующими на данный момент методами, которые подразумевают использование эталонных гирь, а также возможность расширения области применения эталонов силы для поверки большегрузных весов. Суть обозначенных вопросов состоит: в наличии технологических и экономических трудностей при применении данных методов передачи единицы величины; в несоответствии нормируемых метрологических характеристик средств измерений массы и эталонов силы.

Авторами предложен новый метод передачи единицы величины большегрузным весам с применением силовоспроизводящих гидравлических машин в качестве эталонов единицы силы. В ходе исследования опробован данный метод, а также сформулированы требования к эталонам силы, применяемым для поверки большегрузных весов, и проведены экспериментальные исследования в целях проверки соответствия эталонов силы этим требованиям. На примере гидравлических силовоспроизводящих машин показано соответствие эталонов силы данным требованиям.

Описан подход к метрологическому обеспечению измерений больших масс с применением эталонов единицы силы. Новый метод передачи единицы величины на основе этого подхода имеет перспективу стать самым распространенным и доступным методом поверки большегрузных весов ввиду относительной простоты реализации данного метода. Поэтому целесообразно расширить области применения существующих эталонов силы 1 разряда.

Ключевые слова: эталон, измерения массы, поверка, большегрузные весы, силовоспроизводящие машины

Используемые сокращения: ГПС для СИ массы – государственная поверочная схема для средств измерений массы; ГПЭ – государственный первичный эталон; СИ – средства измерений; НИЛ – научно-исследовательская лаборатория

Ссылка при цитировании: Требования к эталонам единицы силы, применяемым для поверки большегрузных весов / И. Ю. Шмигельский [и др.] // Эталоны. Стандартные образцы. 2022. Т. 18, № 3. С. 5–16. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2022-18-3-5-16>

Статья поступила в редакцию 10.05.2022; одобрена после рецензирования 25.06.2022; принята к публикации 25.09.2022.

MEASUREMENT STANDARDS

Research Article

Requirements for Force Standards Used for Verification of Heavy Scales

Ilya Yu. Shmigelsky ✉, Dmitrii V. Andreev, Aleksandr F. Ostrivnoi, Vladimir V. Sychev

D. I. Mendeleyev Institute for Metrology, St. Petersburg, Russia

✉ i. y.shmigelskiy@vniim.ru

Abstract: This article discusses the problem of verification of heavy scales by currently existing methods that involve the use of reference weights and the possibility of expanding the scope of force standards for verification of heavy scales. The essence of the problem is the existence of technological and economic difficulties in the application of these methods of transferring a measurement unit, as well as the incompatibility between the normalized metrological characteristics of mass measuring instruments and force standards.

The authors proposed a new method for transferring a measurement unit to heavy scales using force-reproducing hydraulic machines as force standards. Within the research, this method was tested, the requirements for force standards used for verification of heavy scales were formed, and experimental studies were carried out in order to verify the compliance of force standards with these requirements. On the example of hydraulic force-reproducing machines, the compliance of force standards with these requirements was shown.

There is described an approach to the metrological support of measurements of large masses using force standards. In view of the relative ease of the method implementation, a new method of transferring a measurement unit based on this approach has the prospect of becoming the most common and accessible method for verification of heavy scales. Therefore, it is advisable to expand the scope of existing 1st category force standards.

Keywords: standards, mass measurement, verification, heavy scales, force-reproducing hydraulic machines

Abbreviations used in the article: SPS – state primary standard; MI – measuring instruments, SRL – science research laboratory

For citation: Shmigelsky I. Yu., Andreev D. V., Ostrivnoi A. F., Sychev V. V. Requirements for Force Standards Used for Verification of Heavy Scales *Measurement Standards. Reference Materials*. 2022;18(3): 5–16. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2022-18-3-5-16> (In Russ.).

The article was submitted 10.05.2022; approved after reviewing 25.06.2022; accepted for publication 25.09.2022.

Введение

Поверка большегрузных весов существующими на данный момент методами [1] влечет за собой технологические и экономические трудности, которые представляют собой отсутствие достаточного количества эталонных гирь у поверочных организаций, высокие затраты ресурсов предприятия на аренду необходимого оборудования для перевозки и установки гирь, длительность процесса поверки, а также возможность перевозки гирь к месту поверки. Важность данного исследования обоснована возможностью решить данные проблемы, которые возникают в ходе поверки с помощью гирь.

Известно, что подкладные и крановые весы могут конструктивно быть установлены в рабочую область гидравлической силовоспроизводящей машины, поэтому представляется логичным при соответствии требованиям эталона проводить поверки [7, с. 17] данных средств измерений с помощью гидравлических силовоспроизводящих машин. Другие большегрузные весы также могут быть поверены с их помощью, но другими способами, также с использованием эталонов силы.

Целью настоящего исследования является рассмотрение возможности применения нового метода поверки большегрузных весов и определение соответствия метрологических характеристик

силовоспроизводящих машин, принадлежащих ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», в качестве средства поверки большегрузных весов согласно требованиям, предъявляемым к эталонам, заимствованным из других ГПС для СИ массы¹.

В последнее десятилетие промышленность начала производить высокоточные силовоспроизводящие машины, основанные на принципах гидравлического нагружения с применением тензорезисторного датчика, находящегося в силовой цепи.

Такие машины в настоящее время применяются для метрологического обеспечения динамометров и силоизмерительных датчиков.

В машинах применяется обратная связь, замкнутая на вторичном электронном преобразователе. Схема взаимодействия элементов управления в общем виде представлена на рис. 1 (с применением обратной связи). Вторичный электронный преобразователь измеряет выходной сигнал с датчика в виде мВ/В с относительной погрешностью порядка 10^{-6} .

Особенностью системы управления и выхода на режим при задании нагрузки в таких силовоспроизводящих машинах является то, что при создании нагрузки в гидравлической системе применяются два сервопривода, один из которых работает с постоянным количеством оборотов, а второй по каналу обратной связи компенсирует случайные колебания поршня в составе цилиндра первого сервопривода и отклонение давления от значения, соответствующего номинальному значению усилия согласно формуле (1) зависимости [2] значения номинальной силы от давления в гидравлической системе.

$$F = P \cdot S, \quad (1)$$

где F – номинальное усилие машины, в Н;

¹ В соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений массы, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 04.07.2022 № 1622.

S – площадь поверхности поршня, передающего усилие силовой цепи, в мм²;

P – давление в гидравлической системе, соответствующее номинальному значению усилия, в МПа.

Такой принцип позволяет задавать стабильную нагрузку с точностью до 1 Н при нагрузке порядка 100 000 Н в течение долгого времени, например, нескольких десятков минут и более.

Данные показатели гидравлических силовоспроизводящих машин позволяют реализовать возможность поверки большегрузных весов с помощью эталонов единицы силы. Такие возможности рассмотрены в статье А. Ф. Остривного [3] и И. Ю. Шмигельского [4], где подробно описаны методы поверки большегрузных весов силовым методом, а также проведен анализ существующих методов, по итогам которого сделан вывод об ограниченности применения существующих методов поверки большегрузных весов, а также о том, что оценки метрологических характеристик большегрузных весов, полученные силовым методом, не хуже, чем метод с использованием гирь.

Материалы и методы

В данном разделе рассматривается метод передачи единицы силы от первичного эталона силы к эталону силы 1 разряда с учетом чувствительности динамометра-компаратора в выбранных точках нагружения. Проводится анализ составляющих неопределенности измерений при передаче единицы силы с выделением доминирующих составляющих неопределенности, а также оценка требований к эталонам силы в соответствии с ГПС для СИ массы в целях проведения поверки большегрузных весов.

Метод сличения при передаче единицы силы

В Государственной поверочной схеме для средств измерений силы (рис. 2) предусмотрен метод сличения аттестуемого эталона 1 разряда с государственным первичным эталоном единицы силы ГЭТ 32–2011

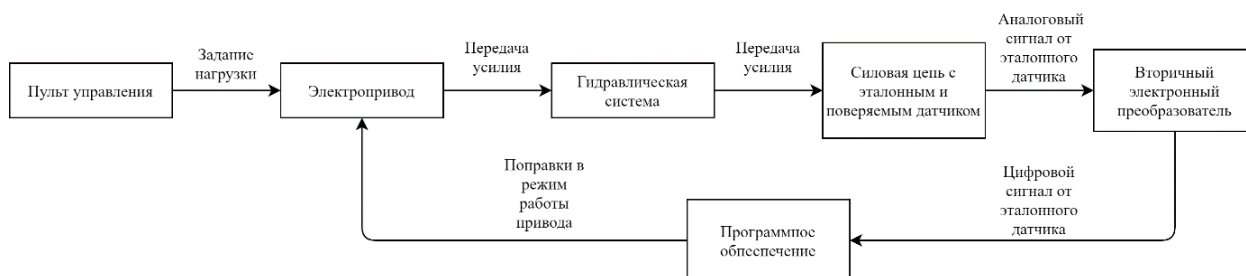


Рис. 1. Схема взаимодействия элементов управления (с применением обратной связи)

Fig. 1. The interaction scheme of controls using feedback

при помощи динамометра-компаратора [5], входящего в состав первичного эталона силы (далее – динамометра-компаратора). Метод подразумевает регистрацию показаний динамометра-компаратора при нагружении на первичном эталоне силы в требуемых точках нагружения и регистрацию показаний динамометра-компаратора при нагружении на аттестуемом эталоне 1 разряда в требуемых точках нагружения при дальнейшем расчете на основе наблюдаемых данных необходимых метрологических характеристик аттестуемого эталона.

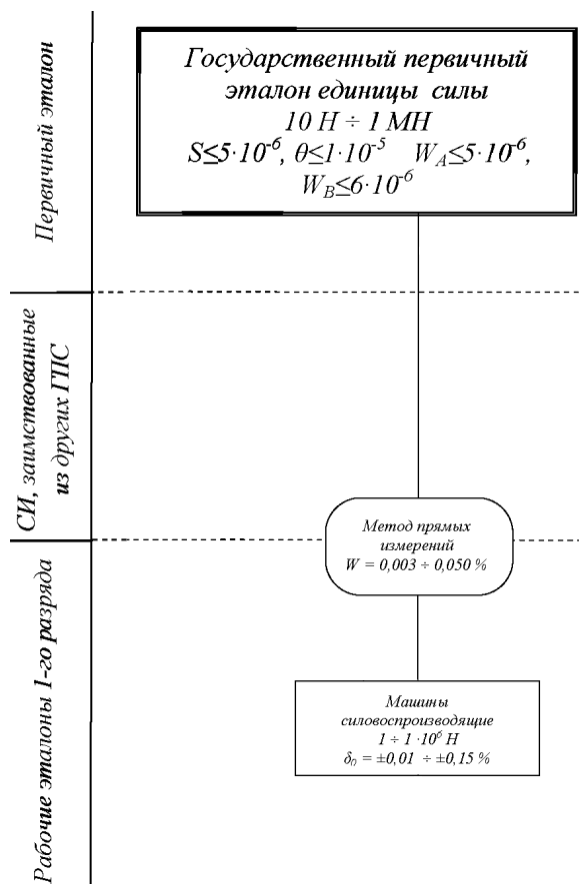


Рис. 2. Фрагмент Государственной поверочной схемы для средств измерений силы

Fig. 2. Fragment of the State verification scheme for force measuring instruments

Путем приближения зависимости измеренного значения силы от выходного сигнала динамометра-компаратора в условных единицах к линейной, при определении метрологических характеристик аттестуемого эталона возможен расчет систематической составляющей погрешности измерений ΔF с помощью формулы.

$$\Delta F_i = c_i (\overline{X_i} - \overline{I_i}), \quad (2)$$

где $\overline{X_i}$ – средние значения показаний динамометра-компаратора в мВ/В на аттестуемом эталоне в каждой точке нагружения;

$\overline{I_i}$ – средние значения показаний динамометра-компаратора в мВ/В на первичном эталоне в каждой точке нагружения;

c_i – коэффициент чувствительности в Н/(мВ/В) на каждой i -й ступени нагружения по формуле:

$$c_i = \frac{m_i g}{\Delta I_i}, \quad (3)$$

где m_i – масса дополнительной нагрузки, кг;

i – точки нагружения, например, от 1 до 19;

g – значение ускорения свободного падения на месте эксплуатации ГПЭ единицы силы ($g = 9,8193 \text{ м/с}^2$);

ΔI_i – средние значения изменений показаний динамометра-компаратора при добавлении дополнительной нагрузки m_i , мВ/В.

При применении разных динамометров-компараторов в ряде случаев выявилась возможность уменьшения неопределенности за счет учета нелинейности. Учет нелинейности в перспективе может повысить показатели точности при измерениях.

При проведении градуировки методом сличений таких силовоспроизводящих машин с государственным первичным эталоном единицы силы с применением эталонных динамометров-компараторов, современное программное обеспечение позволяет проводить градуировку в различных диапазонах измерений и строить кусочно-линейную аппроксимацию по точкам внутри. Такие динамометры-компараторы предварительно отградуированы на государственном первичном эталоне единицы силы [6].

В выбранных точках, соответствующим показаниям динамометра-компаратора I_i , производится оценка чувствительности динамометра-компаратора. Результат определяется уравнением измерений:

$$F(I_i + \Delta I_i) - F(I_i) \approx \frac{dF}{dI} \Delta I_i, \quad (4)$$

где: $\frac{\Delta I_i}{I_i} \ll 1$

ΔI_i – изменение показаний динамометра-компаратора при добавлении дополнительной нагрузки m_i , мВ/В.



Рис. 3. Оценка чувствительности динамометра-компаратора при помощи гири на эталоне силы прямого нагружения ГЭТ 32–2011

Fig. 3. Evaluation of the sensitivity of the dynamometrical comparator using a weight on the deadweight force standard GET 32–2011

Другими словами, при предварительных исследованиях динамометра-компаратора на ГПЭ требуется оценка производной (чувствительности) в каждой точке нагружения.

Путем такой градуировки возможно минимизировать систематическую составляющую погрешности.

Для исследования стабильности градуировочных характеристик необходимо наблюдение за метрологическими характеристиками силовоспроизводящих машин в течение нескольких лет при каждой периодической калибровке, аттестации или межлабораторных сличительных испытаниях.

Важным элементом погрешности также является случайная составляющая, которая зависит от конструктивных особенностей эталонной силовоспроизводящей машины, от режимов работы гидравлической системы управления, от стабилизации при применении отрицательной обратной связи.

Принцип передачи единицы величины от государственного первичного эталона единицы силы эталонам

единицы силы первого разряда заключается в применении динамометра-компаратора, который градуируется во всем диапазоне измерений, как правило, в 10 точках в режиме нагружения и 10 точках в режиме разгружения с получением опорных значений. Градуировка динамометра-компаратора проводится путем нагружения эталонной силой в указанных диапазонах. В целях уменьшения влияния возможного несимметричного нагружения относительно оси силововведения проводится шесть рядов измерений при поворотах 0° , 120° и 240° (два оборота) относительно оси датчика. Далее рассчитывается среднее значение в каждой точке нагружения по 6 рядам измерений с учетом значений при нулевой нагрузке.

Для оценки возможности применения динамометра-компаратора в целях передачи единицы силы эталонам 1 разряда с относительной погрешностью $\delta_{\text{эт}}$, например, 0,02 %, необходимо реализовать указанную величину с применением гири класса M_3 (рис. 3) согласно ГОСТ OIML R111-1-2009. Это возможно на установках, работающих по принципу непосредственного нагружения силой тяжести, которые входят в состав государственного первичного эталона единицы силы. Путем добавления гири номинальной массы, равной в данном примере 0,02 %, от значения наибольшего предела измерений, мы получаем коэффициент преобразования условных единиц мВ/В в нормированные единицы измерений (Ньютоны).

После получения опорных значений динамометры-компараторы совместно со вторичной электронной аппаратурой транспортируются к аттестуемому эталону. При аттестации проводятся аналогичные измерения в тех же точках нагружения в тех же режимах при 6 рядах (рис. 4). По результатам полученных измерений рассчитывается среднее значение по 6 измерениям и устанавливается отклонение среднего значения, полученного на первичном эталоне, от среднего значения, полученного на аттестуемом эталоне.

Доминирующими составляющими неопределенности [7] результата измерений силы являются, как правило, случайная составляющая аттестуемого эталона и неисключенная систематическая составляющая после внесения поправок, а также нестабильность градуировочной характеристики аттестуемого эталона (рис. 5).

В общем виде бюджет суммарной неопределенности [6, с. 17] измерений на аттестуемом эталоне в каждой точке нагружения представлен в табл. 1 и рис. 1.



Рис. 4. Проведение измерений на аттестуемом эталоне единицы силы 1 разряда

Fig. 4. Measurements on the certified 1st category force standard

Поверка большегрузных весов

В настоящее время поверка весов происходит с применением гирь и, как правило, выполняется в соответствии с ГОСТ OIML R76-1-2011. При поверке весов возникают сложности с доставкой гирь в отдаленные места установки весов. Не всегда возможно доставить гири к месту поверки. Для весов с максимальной нагрузкой более 30 т существует проблема, связанная с недостаточным количеством гирь у поверочных организаций. Частично эти проблемы можно решить путем применения эталонов силы в качестве средств поверки весов.

Для оценки возможности применения эталонов силы в целях поверки большегрузных весов необходимо, в первую очередь, руководствоваться принципом соотношения 1/3 между пределами абсолютной погрешности эталонов и поверяемых большегрузных весов в требуемых диапазонах измерений.

Поскольку при измерениях силы обычно нормируется относительная погрешность, то при нижнем пределе измерений значение погрешности обычно выше, чем при верхнем пределе измерений. Возникает несоответствие показателей точности, когда речь идет о применении средств измерений силы для поверки большегрузных весов, например, крановых или подкладных. У весов нормируется не относительная, а абсолютная погрешность, которая зависит от значения поверочного интервала весов (е) согласно ГОСТ OIML R76-1-2011.

Таблица 1. Составляющие суммарной относительной неопределенности измерений на аттестуемом эталоне единицы силы 1 разряда

Table 1. Components of the total relative uncertainty of measurements on the certified 1st category force standard

№ п/п	Составляющая неопределенности, u_i	Тип оценивания	Доля u_i от алгебраической суммы всех составляющих
1	Суммарная неопределенность результатов измерений динамометров-компараторов на ГПЭ	B	1 %
2	Стандартная неопределенность, связанная с повторяемостью результатов измерений	A	68 %
3	Стандартная неопределенность, связанная с разрешением вторичного измерительного преобразователя	B	< 1 %
4	Стандартная неопределенность, связанная с поправками, которые получены по калибровочной характеристике	B	< 1 %
5	Стандартная неопределенность, связанная с ползучестью	B	15 %
6	Стандартная неопределенность, связанная с дрейфом нуля	B	12 %
7	Стандартная неопределенность, связанная с температурой	B	3 %

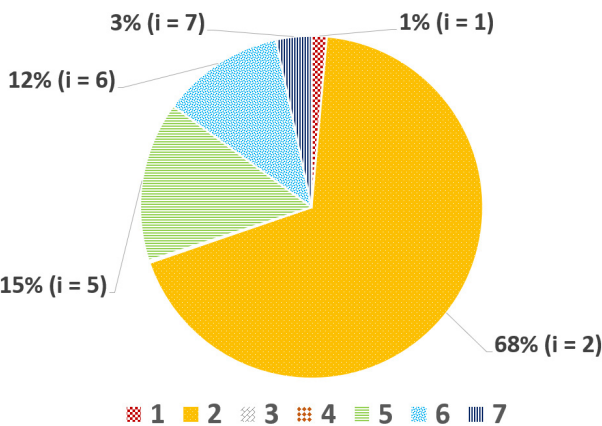


Рис. 5. Диаграмма распределения долей составляющих суммарной относительной неопределенности

Fig. 5. Distribution diagram of the proportions of the components of the total relative uncertainty

С учетом сказанного, чтобы силовоспроизводящая машина была пригодна при использовании не только в качестве эталона 1 разряда², для поверки динамометров и/или их аттестации в качестве эталонов 2 разряда, но и в качестве средства поверки большегрузных весов, согласно ГПС для СИ массы, к ним должны предъявляться требования к значениям абсолютной погрешности Δ_{zi} : соотношение K между пределами допускаемой погрешности применяемого эталона и поверяемого средства

измерений должно удовлетворять условию $K \leq \frac{1}{3}$.

²Согласно приказу Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22.10.2019 № 2498 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений силы».

Стоит также обратить внимание на одно принципиальное различие в диапазонах измерений средств измерений силы и средств измерений массы. Диапазон измерений эталонов единицы силы и средства измерений силы, как правило, начинается от 5% или 10% от наибольшего предела измерений, в то время как весы, изготовленные, например, по ГОСТ OIML R76, имеют наименьший предел измерения 20е, что ниже наименьшего предела для средств измерений силы. Поэтому при аттестации эталонов силы, предназначенных для целей поверки большегрузных весов, требуется проводить дополнительную процедуру измерений в специальном нижнем диапазоне измерений.

Результаты и обсуждение

Результаты

В 2021 г. авторами проведена научно-исследовательская работа³ с целью оценки возможности поверки большегрузных весов с помощью эталонов силы. На основе результатов исследований при первичной аттестации государственного рабочего эталона силы 1 разряда НИЛ госэталонов в области измерений массы и силы были сформированы следующие метрологические требования к эталону (табл. 2).

Например, на практике применяются крановые весы с пределами допускаемой абсолютной погрешности от 1 кг.

³Проведение теоретических и экспериментальных исследований новых эффективных методов и средств испытаний, калибровки и поверки большегрузных весов с применением средств измерений силы: отчет о НИР (заключ.) / ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»; рук. Шмигельский И. Ю. СПб., 2021. 101 с. Исполн.: Остривной А. Ф., Сычев В. В., Андреев Д. В. Инв. № 1210707000124–9.

Таблица 2. Метрологические требования к эталону единицы силы 1 разряда
Table 2. Metrological requirements for 1st category force standard

Диапазон измерений, кН	Пределы допускаемой абсолютной погрешности, Δ_{zi} , Н	Пределы допускаемой относительной погрешности, δ_{zi} , %
от 1 до 10	$\pm 3,5$	—
от 10 до 40	± 6	$\pm 0,01$
от 40 до 100	$\pm 9,5$	
от 100 до 200	± 24	
от 200 до 300	± 50	
от 300 до 400	± 60	
от 400 до 500	± 90	
от 500 до 1000	± 160	

В табл. 2 приведены требования к абсолютной погрешности эталона единицы силы в соответствии с ГПС для СИ массы для реализации возможности поверки большегрузных весов. Значения пределов допускаемой абсолютной погрешности соответствуют запасу точности для поверки наиболее точных большегрузных весов на сегодняшний день. Также в табл. 2 приведены требования в соответствии с ГПС для СИ силы для соответствия силовоспроизводящей машины эталону 1 разряда.

При исследовании метрологических характеристик эталона силы 1 разряда по результатам выполнения НИР на основе измеренных значений определены абсолютная Δ_{ji} и относительная δ_{ji} погрешности воспроизведения единицы силы силовоспроизводящей машиной СМ-200 в диапазоне измерений от 1 до 200 кН и рассчитаны соотношения K между пределами допускаемой

погрешности СМ-200 и поверяемых крановых весов (табл. 3–5, рис. 6, 7). Данные рисунки иллюстрируют соответствие требованиям, заложенным в государственной поверочной схеме для средств измерений массы, согласно которым соотношение между пределами допускаемой погрешности применяемого эталона и средства измерений не должно превышать 1/3. Согласно экспериментальным данным абсолютная погрешность силовоспроизводящих машин соответствует предъявляемым требованиям.

По полученным результатам разработана и утверждена новая редакция ГПС для СИ массы.

Обсуждение

За последний год аттестовано более 100 эталонов силы 1 разряда по всей России. Существующие

Таблица 3. Рассчитанные значения нагружения в диапазоне от 1 до 10 кН

Table 3. Calculated load values in the range from 1 to 10 kN

F_i , кН	СМ-200		Пределы допускаемой абсолютной погрешности весов, кг	Выполнение условия соотношения
	Δ_{ji} , Н	δ_{ji} , %		СМ-200
1	2,4	0,238	± 1	0,245
5	3,1	0,062		0,316
10	3,1	0,031		0,316

Таблица 4. Рассчитанные значения нагружения в диапазоне от 10 до 100 кН

Table 4. Calculated load values in the range from 10 to 100 kN

F_i , кН	СМ-200		Пределы допускаемой абсолютной погрешности весов, кг	Выполнение условия соотношения
	Δ_{ji} , Н	δ_{ji} , %		СМ-200
10	0,7	0,007	± 2	0,036
20	2,0	0,010		0,102
30	2,6	0,009		0,133
40	3,2	0,008		0,163
50	4,1	0,008	± 3	0,139
60	5,0	0,008		0,170
70	7,3	0,010		0,248
80	8,2	0,010		0,279
90	9,1	0,010		0,310
100	8,9	0,009		0,303

Таблица 5. Рассчитанные значения нагружения в диапазоне от 20 до 200 кН
Table 5. Calculated load values in the range from 20 to 200 kN

F_i , кН	СМ-200		Пределы допускаемой абсолютной погрешности весов, кг	Выполнение условия соотношения
	$\Delta_{\Delta i}$, Н	$\delta_{\Delta i}$, %		СМ-200
20	1,5	0,008	± 2	0,077
40	4,0	0,010		0,204
60	5,8	0,010		0,197
80	5,7	0,007	± 3	0,194
100	5,8	0,006		0,197
120	9,6	0,008		0,122
140	9,0	0,006	± 8	0,115
160	13,0	0,008		0,166
180	15,6	0,009		0,199
200	18,2	0,009		0,232

эталонные силы 1 разряда уже применяются для поверки крановых весов, предусматривающих силовой метод в методике поверки.

Проведение новых исследований в области применения эталонов силы, опробование и разработка новых методик поверки на основе метода поверки

с применением эталонов силы позволит расширить область применения имеющихся в ряде предприятий эталонов силы при проведении их аттестации.

Бункерные и железнодорожные весы рельсового типа могут поверяться с применением компаратора, основанного на эталонном датчике, предварительно

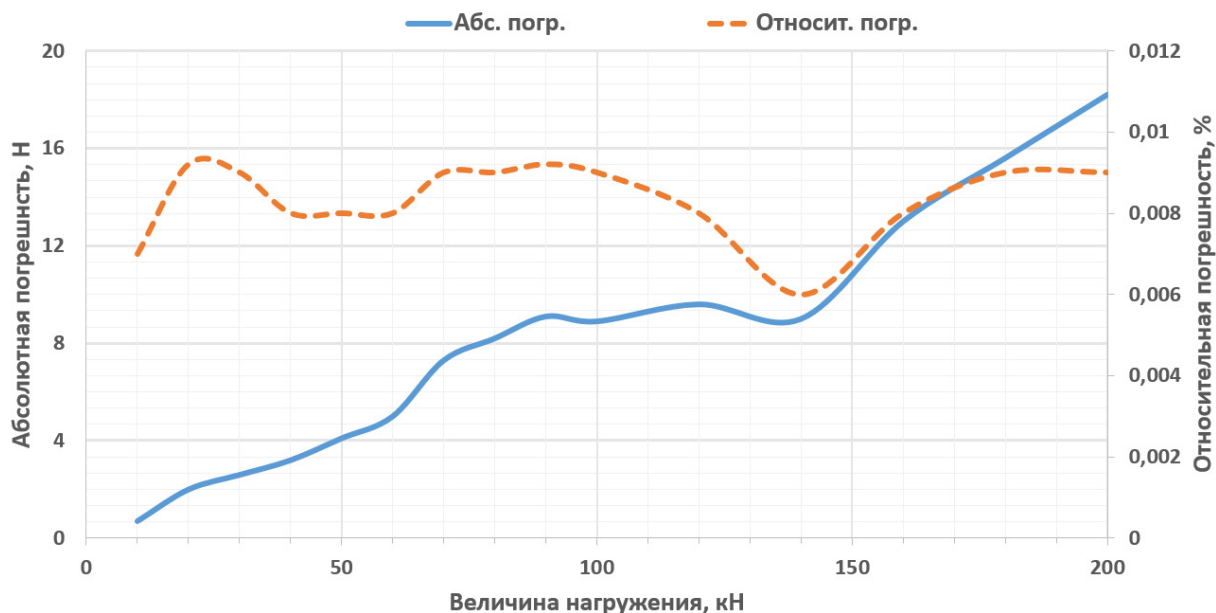


Рис. 6. График зависимости абсолютной и относительной погрешности от величины нагружения

Fig. 6. Dependence of absolute and relative error on the value of loading

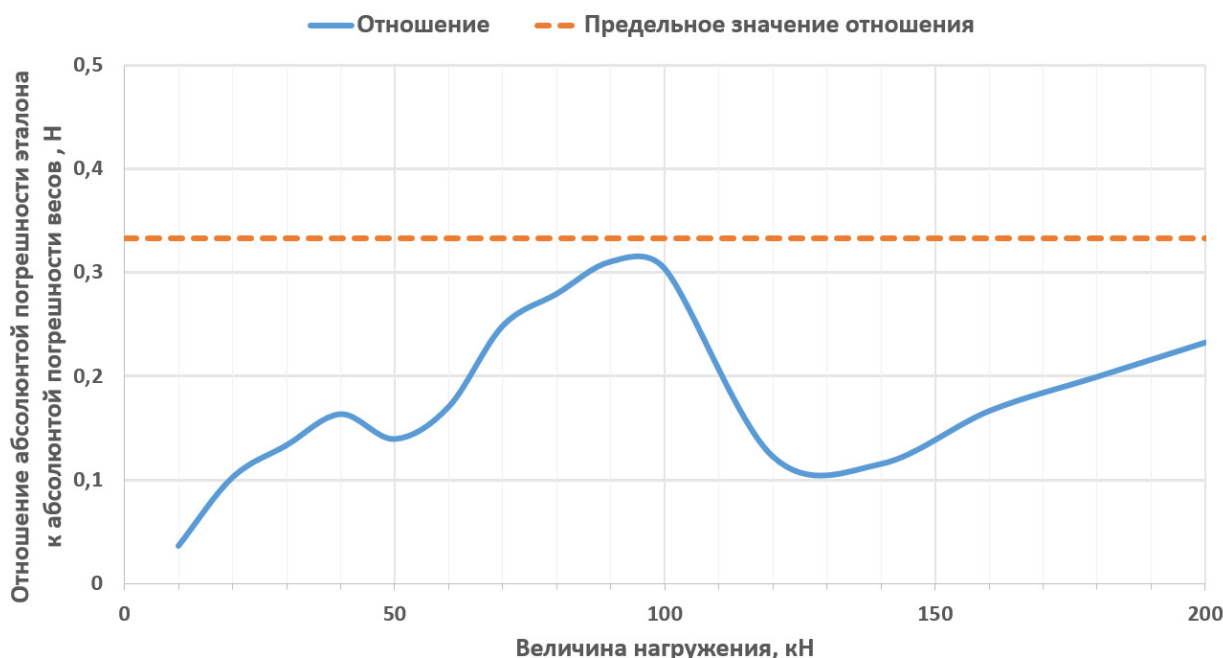


Рис. 7. График зависимости отношения абсолютной погрешности эталона к абсолютной погрешности весов и 1/3 от величины нагружения

Fig. 7. The ratio of the absolute error of the standard to the absolute error of the scales and 1/3 of the value of loading

исследованном на силовоспроизводящей машине с последующим применением, например, гидравлической системы нагружения специальным приспособлением, нагружающим проверяемые весы. Платформенные большегрузные весы могут поверяться путем демонтажа датчиков с исследованием их метрологических характеристик на эталоне силы и последующей установкой в платформенные весы в тех же контролируемых условиях [4].

Выводы

Проведено исследование и опробование нового метода передачи единицы величины большегрузным весам с применением гидравлических силовоспроизводящих машин, а также сформулированы требования к эталонам силы, применяемым для поверки крановых и подкладных большегрузных весов.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют убедительно говорить о том, что существующие в настоящий момент современные высокоточные силовоспроизводящие машины обладают достаточным запасом точности для проведения поверки крановых и подкладных большегрузных весов. Рассмотренные в данной статье крановые и подкладные весы могут поверяться прямым методом – путем

установки крановых весов в рабочую зону растяжения силовоспроизводящих машин.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы «Проведение теоретических и экспериментальных исследований новых эффективных методов и средств испытаний, калибровки и поверки большегрузных весов с применением средств измерений силы» НИОКТР 1210707000124–9.

Все измерения проводились с использованием оборудования ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева».

Acknowledgments: The research was carried out as part of the research work «Conducting Theoretical and Experimental Studies of New Effective Methods and Means for Testing, Calibrating and Verifying Heavy Scales Using Force Measuring Instruments» R&D № 1210707000124–9.

All measurements were carried out using the equipment of the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology.

Вклад соавторов: Шмигельский И. Ю. – общее руководство работами, их методология и координация, анализ экспериментальных данных; Андреев Д. В. – разработка методов исследований эталонов единицы силы, анализ экспериментальных данных, критический

анализ и доработка текста; Остривной А. Ф. – разработка концепции исследования, разработка математической модели метода сличения; Сычев В. В. – сбор и обработка экспериментальных данных, работа с текстом.

Contribution of the authors: Shmigelsky I. Yu. – overall management of works (methodology and coordination), analysis of experimental data; Andreev D. V. – development of research methods for force standards, analysis of experimental data, critical analysis and revision of the

text; Ostrivnoi A. F. – development of the research concept, development of a mathematical model of the comparison method; Sychev V. V. – collection and processing of experimental data, work with the text.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: Authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. OIML G 11 (Ex P 5) Mobile equipment for the verification of road weighbridges. 1992. 60 p.
2. Kumar R., Kumar H., Kumar A., Vikram. Long term uncertainty investigations of 1 MN force calibration machine at NPL, India (NPLI) // *Measurement Science Review*. 2012. № 12. P. 149–152. <https://doi.org/10.2478/v10048-012-0022-9>
3. Остривной А. Ф., Шмигельский И. Ю., Котляров Р. Ю. Методы поверки большегрузных весов // *Законодательная и прикладная метрология*. 2021. № 2. С. 23–28.
4. Экспериментальное исследование метрологических характеристик платформенных большегрузных весов / И. Ю. Шмигельский [и др.] // *Приборы*. 2021. № 5 (251). С. 1–6.
5. Остривной А. Ф., Качмин Д. Г., Семенов С. А. Новая Государственная поверочная схема для средств измерений силы // *Главный метролог*. 2011. № 6 (63). С. 28–30.
6. Maldonado N. I., Betancur I. D. A proposal of an evaluation method for hydraulic standard force machine // *Measurement: Sensors*. 2021. № 18. 100319. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100319>
7. Guidelines on the calibration of non-automatic weighing instruments. Euramet/cg-18/v.04 11–2015. P. 91–109.

REFERENCE

1. OIML G 11 (Ex P 5) Mobile equipment for the verification of road weighbridges. 1992. 60 p.
2. Kumar R., Kumar H., Kumar A., Vikram. Long term uncertainty investigations of 1 MN force calibration machine at NPL, India (NPLI). *Measurement Science Review*. 2012;12:149–152. <https://doi.org/10.2478/v10048-012-0022-9>
3. Ostrivnoi A. F., Shmigelsky I. Yu., Kotliarov R. Iu. Methods for verification of heavy weights. *Zakonodatel'naia i prikladnaia metrologiia*. 2021;2:23–28. (In Russ.).
4. Shmigelsky I. Yu., Senianskii M. V., Ostrivnoi A. F., Kotliarov R. Iu. Experimental study of the metrological characteristics of platform heavy-duty scales. *Pribory*. 2021;5(251):1–6. (In Russ.).
5. Ostrivnoi A. F., Kachmin D. G., Semenov S. A. New State Verification Scheme for Force Measuring Instruments. *Glavnyi metrolog*. 2011;6 (63):28–30. (In Russ.).
6. Maldonado N. I., Betancur I. D. A proposal of an evaluation method for hydraulic standard force machine. *Measurement: Sensors*. 2021;18:100319. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100319>
7. Guidelines on the calibration of non-automatic weighing instruments. Euramet/cg-18/v.04 11–2015. P. 91–109.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

ГОСТ OIML R 76-1-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Весы неавтоматического действия = state system for ensuring the uniformity of measurements. Non-automatic weighing instruments. Part 1. Metrological and technical requirements. Tests : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации, протокол от 22 декабря 2011 г. № 48 : дата введения 2013.07.01. / подготовлен Техническим комитетом по стандартизации ТК 310 «Приборы весоизмерительные», Обществом с ограниченной ответственностью «ОКБ Веста» и Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева», внесен Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии. Москва : Стандартинформ, 2013. 140 с. Текст : непосредственный.

ГОСТ OIML R 111-1-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Гири классов E(1), E(2), F(1), F(2), M(1), M(1-2), M(2), M(2-3) и M(3) = State system for ensuring the uniformity of measurements. Weights of classes E, E, F, F, M, M, M, M and M. Part 1. Metrological and technical requirements : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации, протокол от 11 июня 2009 г. № 35 : дата введения 2012.07.01. / подготовлен Техническим комитетом по стандартизации ТК 310 «Приборы весоизмерительные», Обществом с ограниченной ответственностью «ОКБ Веста» и Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева», внесен Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии. Москва : Стандартинформ, 2012. 103 с. Текст : непосредственный.

ГЭТ 32-2011 Государственный первичный эталон единицы силы / институт хранитель ВНИИМ им. Д.И.Менделеева. Текст : электронный // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. 2017. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/12/items/397917>

Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений силы : приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 октября 2019 г. № 2498.

Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы : приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 4 июля 2018 г. № 1622.

РМГ 91-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Совместное использование понятий «Погрешность измерения» и «Неопределенность измерения». Общие принципы = State system for ensuring the uniformity of measurements. Joint use of concepts «error of measurement» and «uncertainty of measurement». General principles : рекомендации по межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации, протокол от 26 января 2009 г. № 36 : дата введения 2010.02.01 / разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом физико-технических и радиотехнических измерений, внесен Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии. Москва : Стандартинформ, 2009. 12 с. Текст : непосредственный.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шмигельский Илья Юрьевич – канд. техн. наук, руководитель Научно-исследовательской лаборатории госэталонов в области измерений массы и силы ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева».
Российская Федерация, 190005,
г. Санкт-Петербург, Московский пр., 19.
e-mail: i. y.shmigelskiy@vniim.ru

Андреев Дмитрий Викторович – инженер 1 категории Научно-исследовательской лаборатории госэталонов в области измерений массы и силы ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева».
Российская Федерация, 190005,
г. Санкт-Петербург, Московский пр., 19.
e-mail: d. v.andreev@vniim.ru

Остривной Александр Федорович – ведущий инженер лаборатории Научно-исследовательской лаборатории госэталонов в области измерений массы и силы ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева».
Российская Федерация, 190005,
г. Санкт-Петербург, Московский пр., 19.
e-mail: 2301@vniim.ru

Сычев Владимир Владимирович – инженер Научно-исследовательской лаборатории госэталонов в области измерений массы и силы ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева».
Российская Федерация, 190005,
г. Санкт-Петербург, Московский пр., 19.
e-mail: 2301@vniim.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ilya Yu. Shmigelsky – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Mass and Force Laboratory, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology.
19 Moskovskiy ave., St. Petersburg
190005, Russian Federation
e-mail: i. y.shmigelskiy@vniim.ru

Dmitrii V. Andreev – 1st category Engineer of the Mass and Force Laboratory, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology.
19 Moskovskiy ave., St. Petersburg
190005, Russian Federation
e-mail: d. v.andreev@vniim.ru

Aleksandr F. Ostrivnoi – Lead Engineer of the Mass and Force Laboratory, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology.
19 Moskovskiy ave., St. Petersburg
190005, Russian Federation
e-mail: 2301@vniim.ru

Vladimir V. Sychev – Engineer of the Mass and Force Laboratory, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology
19 Moskovskiy ave., St. Petersburg
190005, Russian Federation
e-mail: 2301@vniim.ru