УДК 62-97/-98

О МЕТОДИКЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ АССОЦИАЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОИНСТРУМЕНТА «ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГИИ ЕДИНИЧНОГО УДАРА ПЕРФОРАТОРОВ И ОТБОЙНЫХ МОЛОТКОВ»

© Ямпольский Дмитрий Зиновьевич¹, Ванаев Владимир Степанович²

¹Общество с ограниченной ответственностью «УДАРМАШ», Москва, Россия

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(МГТУ им. Н.Э. Баумана), Москва, Россия

dmyampol@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена Методика измерения энергии удара электрических отбойных молотков и перфораторов, разработанная Европейской Ассоциацией Производителей Электроинструмента. Проанализированы измерительная аппаратура, метод измерения энергии ударного импульса и методика испытаний электроинструмента в сравнении с разработанной в ООО «УДАРМАШ» установкой «УИПУ-4М» и отечественным стандартом на испытания отбойных молотков ГОСТ 55162 – 2012. Отмечены возможности совершенствования Методики и повышения точности измерений.

Ключевые слова: электрические отбойные молотки, электроперфораторы, энергия удара, методика измерений, Европейская Ассоциация Производителей Электроинструмента, предложения по совершенствованию методики.

ABOUT THE EUROPEAN POWER TOOLS ASSOCIATION TECHNIQUES “MEASUREMENT OF THE SINGLE IMPACT ENERGY OF ROTARY HAMMERS AND BREAKERS”

© D.Z. Yampolsky¹, V.S. Vanaev²

¹The limited liability company «UDARMASH», Moscow, Russia

²Bauman Moscow State Technical University (Bauman MSTU), Moscow, Russia

dmyampol@mail.ru

Abstract. The procedure for measuring the impact energy of electric hammers and breakers, developed by The European Power Tools Association, is discussed. The method for shock pulse energy measuring, equipment for it and power tool testing procedure are considered in comparison with the national standard GOST 55162 – 2012 and the "UIPU-4M" system developed by "UDARMASH". The possibilities to improve the procedure and increase the accuracy of measurements are marked.

Key words: electric power tools, single impact energy, measurement technique, The European Power Tools Association, proposals to improve the procedure.

1. Общие сведения. В 2009 году Европейская Ассоциация Производителей Электроинструмента (The European Power Tools Association – далее Ассоциация ЕРТА) выпустила корпоративный стандарт «Методика измерения единичной энергии удара перфораторов и отбойных молотков» (Procedure 05 “Measurement of the single impact energy of rotary hammers and breakers” – далее Методика, Методика ЕРТА). В октябре 2016 года

вышла его вторая редакция [1]. С 1 января 2018 года все производители электроинструмента, входящие в данную Ассоциацию¹, обязаны указывать в каталогах на свою продукцию сведения об энергии удара отбойных молотков и перфораторов, полученные в соответствии с данным стандартом.

Мы предлагаем читателям статью, в которой дан анализ Методики ЕРТА, а также представлены предложения по ее совершенствованию и доработке. К сожалению, Методика ЕРТА до сих пор не опубликована (она доступна лишь узкому кругу специалистов фирм, входящих в Ассоциацию ЕРТА). Авторы данной статьи располагают текстом Методики на английском языке, который был предоставлен им одной из организаций, производящей электроинструмент.

Мы полагаем целесообразным цитировать наиболее важные фрагменты Методики на языке оригинала, чтобы избежать неточностей в переводе и исключить возможность двусмысленного толкования собственного перевода.

Прежде чем приступить к анализу Методики ЕРТА, необходимо определить термин «энергия единичного удара». В Методике дается следующее определение:

(2) single impact energy – energy content of the first impact impulse shock wave, generated when the beat piece hits the connection end of the test rod

Энергия единичного удара – есть энергосодержание первого импульса ударной волны, возникающей при ударе промассы по хвостовику измерительной штанги.

Для разъяснения данного определения рассмотрим принципиальную схему электрической ударной машины, показанную на рис. 1. Такая машина ударного действия – будь то отбойный молоток или перфоратор – состоит из корпуса 1, в котором размещен кривошипный механизм 2, ударник 3, промасса (промежуточный ударник) 4, и рабочий инструмент 5.

Цикл ударной машины включает рабочий и холостой ход. При рабочем ходе кривошипный механизм разгоняет ударник, последний наносит удар по промассе, которая, в свою очередь, ударяет по хвостовику инструмента. На холостом ходу за счет разряжения кривошипный механизм возвращает ударник в исходное положение (вверх). Удары повторяются с частотой около 50 Гц.

Рис. 1. Принципиальная схема электрической ударной машины

1 – корпус; 2 – кривошипный механизм; 3 – ударник;
4 – промасса; 5 – рабочий инструмент;

инструменте. В отечественной литературе эта волна носит специальное название – ударный импульс. Таким образом, в Методике ЕРТА под единичной энергией удара понимается

Традиционно под энергией удара машины ударного действия понимается кинетическая энергия ударника перед его ударом по рабочему инструменту [2-4]. В Методике ЕРТА объектом измерений является первая ударная волна, возникающая при ударе в

¹ На сегодняшний день в ЕРТА входят 16 крупнейших производителей электрических машин: Hilti, BOSCH, Makita, Hitachi, Ingersoll Rand, Metabo, SPARKY, BAIER, Интерскол и др.

энергия ударного импульса. Именно эта физическая величина подлежит измерению и декларированию.

Энергия ударного импульса более полно характеризует эффективность ударной машины, поскольку это энергия, переданная машиной своему инструменту, который непосредственно совершает полезную работу по ударному разрушению.

Сопоставим энергию ударного импульса и энергию удара в ее традиционном понимании.

Пусть масса ударника M , его предударная скорость V_y и скорость отскока V_0 , промасса имеет массу m и ее скорость отскока при ударе v_0 , энергия ударного импульса W . Тогда для рассматриваемой схемы электрической ударной машины имеем уравнение баланса энергии в установившемся периодическом режиме работы

$$\frac{MV_y^2}{2} + Z^- + z^- = \frac{MV_0^2}{2} + \frac{mv_0^2}{2} + Z^+ + z^+ + W + Q, \quad (1)$$

где Z^- , z^- и Z^+ , z^+ – соответственно потенциальная энергия собственных колебаний ударника и промассы до и после удара; Q – совокупные потери энергии на сопутствующие удару явления (трение, излучение звука, магнитострикцию, магнитоиндукцию и др.).

Поскольку $Z^- < Z^+$ и $z^- < z^+$ (в силу затухания собственных колебаний в течение рабочего цикла машины), из формулы (1) следует, что энергия ударного импульса W всегда меньше кинетической энергии ударника, т.е. энергии удара в ее традиционном понимании. Разница в энергиях может быть значительной, поэтому переход к Методике ЕРТА, т.е. переход к нормированию энергии ударного импульса, привел к резкому снижению энергетических параметров электрических ударных машин, которое наблюдается в каталогах ведущих производителей электроинструмента с 2009 года.

Энергия ударного импульса измеряется тензометрическим методом с помощью специальной тензометрической аппаратуры и измерительных преобразователей в виде длинных измерительных штанг с тензодатчиками (тензорезисторами) [1, 5-8]. Энергия ударного импульса W определяется формулой

$$W = cES \int_0^T \varepsilon^2(t) dt, \quad (2)$$

где c – скорость звука в измерительной штанге; E – модуль Юнга штанги; S – площадь поперечного сечения штанги; T – длительность ударного импульса; ε – относительная деформация участка штанги под тензодатчиком; t – время.

Методика ЕРТА формулирует общие требования к методу и средствам измерения энергии ударного импульса и методу испытаний ручной электрической ударной машины.

Мы будем анализировать Методику ЕРТА в сравнении с Установкой «УИПУ-4М»² [8] и отечественным стандартом на отбойные молотки ГОСТ 55162 – 2012 [7].

Установка «УИПУ-4М» разработана ООО «УДАРМАШ» на базе серии установок «УИПУ» [6, 8] как результат развития тензометрического метода измерения параметров удара за последние 50 лет.

В ГОСТ 55162 – 2012 «Оборудование горно-шахтное. Молотки отбойные пневматические. Требования безопасности и методы испытаний» изложен советский и российский опыт испытаний ручных машин ударного действия по определению их энергетических, вибрационных и шумовых характеристик.

Начать анализ Методики ЕРТА целесообразно с приборного оборудования для измерения энергии ударного импульса.

² «УИПУ» – Установка для Измерения Параметров Удара.

2. Измерительная система и калибровка измерительного тракта.

Измерительная система согласно Методике ЕРТА показана на рис 2. Она состоит из электроинструмента (молотка), в патрон которого установлена измерительная штанга, бетонного блока, тензометрического усилителя и цифрового записывающего устройства.

(4.2) A test rod with a tool connection end as recommended by the manufacturer shall be used. On hammers with a hexagon tool holder, the diameter of the test rod equals the width across flats of the corresponding tool bit. It's recommended that there are no steps along the entire length of the test rod. To ensure a central impact, the connection end of the test rod shall be convex with a radius of maximum 100 mm.

Test rods shall be made of steel such as 115 Cr V 3. Both ends shall be hardened to (55 ± 5) HRC or equivalent HRA.

In the area where the strain gauges are applied the test rod shall have the same hardness over the whole cross section.

The Young's modulus of the test rod is fixed at 210 GPa. Calculations shall be done with a constant Poisson's ratio of 0,29. The value of the density is given as 7 850 kg/m³. The velocity of sound in steel is 5 180 m/s.

Рис. 2. Измерительная система согласно Методике ЕРТА

Таблица 1 – Геометрические размеры измерительных штанг

Тип хвостовика	Диаметр штанги мм	Длина штанги мм	Расстояние от торца хвостовика до тензодатчиков, мм
SDS-PLUS (TE-C)	10	600	150
SDS-TOP (TE-T)	14	600	150
SDS-MAX (TE-Y)	18	800	200

Измерительная штанга изготавливается из инструментальной стали марки 115 Cr V 3, концы которой закалывают до твердости (55 ± 5) HRC. Хвостовик штанги выполняется в соответствии с требованиями изготовителя электроинструмента. Для обеспечения центральности удара торец хвостовика штанги должен иметь радиус не более 100 мм³.

Рекомендуется, чтобы по всей длине измерительной штанги не было уступов (буртов). Штанга выбирается так, чтобы ударный импульс полностью укладывался по ее длине, а отраженная от противоположного конца штанги волна (отраженный импульс) не накладывалась на него.

На измерительную штангу диаметрально противоположно наклеиваются 4 одинаковых тензодатчика (тензорезистора): два вдоль оси штанги и два поперек оси. Датчики соединяются по мостовой схеме (мост Уитстона).

Рекомендуемая длина штанги и место расположения тензодатчиков даны в Таблице 1 в зависимости от диаметра штанги и типа ее хвостовика

Физические константы измерительной штанги жестко заданы: сталь 115 Cr V 3, плотность – 7850 кг/м³, модуль Юнга – 210 ГПа, скорость продольной волны (скорость звука) – 5180 м/с, коэффициент Пуассона – 0,29.

(4.3) The concrete block shall have the minimum dimensions 800 mm x 500 mm and 200 mm in height and a compressive strength from 40 N/mm² to 50 N/mm².

³ В Методике ЕРТА не указано, какова должна быть геометрия противоположного торца штанги.

Размеры бетонного блока должны быть не менее 800 мм × 500 мм, а высота не менее 200 мм; предел прочности на сжатие 40...50 Н/мм².

(4.4) For signal conditioning a DC strain amplifier shall be used. The cut-off frequency (-1 dB) of the amplifier shall be at least 100 kHz. If the amplifier has a cut-off-frequency of more than 100 kHz, the bandwidth shall be limited to 100 kHz with built-in or external analogue low-pass filters (minimum 4th order and Bessel characteristics are recommended) to keep the signal noise low. Voltage supply: the bridge supply voltage shall be 5 V or higher with an accuracy of ±0,5 % during the measurement.

Data acquisition: sampling rate ≥ 1 MHz A/D-converter with at least 12 bit resolution.

Рекомендуемые Методикой ЕРТА технические характеристики измерительной аппаратуры представлены в Таблице 2⁴.

Для измерения ударных деформаций в Методике ЕРТА применен усилитель постоянного тока, сигнал с которого подается на цифровое записывающее устройство – аналого-цифровой преобразователь и компьютер, которые выполняют оцифровку выходного напряжения усилителя, его запись, обработку и расчет энергии ударного импульса.

Таблица 2 – Технические характеристики измерительной аппаратуры согласно Методике ЕРТА

Наименование характеристики	Значение
Количество тензорезисторов	4
Длина сетки тензорезистора	< 6 мм
Электрическое сопротивление тензорезистора	> 350 Ом
Частотный диапазон тензоусилителя (по уровню –1 дБ)	0 Гц...100 кГц
Напряжение питания моста тензодатчиков	≥ 5 В
Нестабильность напряжения питания тензодатчиков	< 0,5%
Разрядность АЦП	≥ 12 бит
Частота дискретизации измерительных данных	≥ 1 МГц

Сведения о требованиях к калибровке измерительного тракта в Методике ЕРТА не приводятся. Указано лишь, что перед каждым измерением необходимо провести коррекцию нуля с учетом веса испытываемого электроинструмента.

Исходя из измерительной схемы (рис. 2), Методика ЕРТА дает следующую формулу для расчета энергии ударного импульса $W_{ЕРТА}$:

$$W_{ЕРТА} = \frac{4cES}{[k\beta U_0(1 + \mu)]^2} \int_0^T U_M^2(t) dt, \quad (3)$$

где k – коэффициент усиления тензоусилителя; β – коэффициент тензочувствительности тензорезистора; U_0 – напряжение питания моста Уинстона; μ – коэффициент Пуассона материала измерительной штанги; $U_M(t)$ – измеряемый сигнал по напряжению в момент времени t .

(5.1.5) The test rod shall be properly earthed.

NOTE It is recommended using ribbon cable for earthing the test rod.

Only shielded measuring cord shall be used.

Методика ЕРТА требует, чтобы измерительная штанга была должным образом заземлена, но не объясняет, что значит «должным образом».

По опыту разработки установок «УИПУ» [6, 8] мы знаем, что на измерительный сигнал влияют помехи электросети, электромагнитные волны в частотном диапазоне до 300 кГц, а при испытаниях электроинструмента – специфические помехи, создаваемые работой самой ударной машины.

Уменьшить влияние этих помех можно за счет использования:

⁴ Технические характеристики Установки «УИПУ-4М» даны в работе [8].

- лабораторного автотрансформатора для питания измерительной аппаратуры;
- гальванической развязки цепей питания электроинструмента и измерительной системы;
- заземления измерительной аппаратуры и штанги в единой точке.

Энергия ударного импульса определяются путем косвенных измерений, для нее нет образцовых мер, с которыми можно было бы сопоставить полученные результаты. То есть можно откалибровать тензоусилитель и измерительный тракт, выполнить расчеты по формулам (2) и (3), но остается вопрос: «насколько результат измерения соответствует реальной энергии?».

Методика ЕРТА предлагает следующее решение этого вопроса.

(4.5) The test rod shall be validated with the applied strain gauges by a drop test with a mass...

To validate the measuring chain the kinetic energy of a drop weight, which hits the test rod, is compared with the impact energy.

For that purpose a dedicated drop rig shall be used, where the drop weight is properly guided, either accelerated by gravity or by suitable drives (e.g. pressured air). The impact velocity $v_{forward}$ and the recoil velocity of the drop weight v_{return} shall be measured with suitable equipment (e.g. laser light barrier) to a maximum allowable uncertainty of 1 % of measured velocity. The recoil velocity of the drop weight shall be measured before the reflected wave in the rod arrives at the connection end.

Note. If the drop weight rebounds after arrival of the reflected wave at the connection end, the recoil velocity is consequently regarded to be zero.

The applied kinetic energy of the drop weight should be chosen close to the expected value of the impact energy the velocity of the drop weight being (10 ± 3) m/s. The difference between the determined energy by the drop test rig and the measured energy, see equation (17), which includes the complete measurement chain, shall be smaller than 10 %, otherwise the test rod is not valid.

Надо провести проверочное испытание измерительной штанги путем сбрасывания на нее груза некоторой массы m_z с одновременной регистрацией ударного импульса деформации, предупредительной скорости груза $v_{forward}$ и скорости его отскока v_{return} . При этом разность кинетической энергии груза ΔA до удара и после него необходимо сравнить с энергией ударного импульса, рассчитанной по формуле (3):

$$\Delta A = \frac{m_z}{2} v_{forward}^2 - \frac{m_z}{2} v_{return}^2.$$

Измерительная штанга признается годной для измерений по Методике ЕРТА, если значения ΔA и $W_{ЕРТА}$ отличаются менее чем на 10 %.

Схема проверочного испытания показана на рис. 4. Для реализации этой схемы используют специальный стенд, конструкцию которого Методика ЕРТА не дает. Имеются только следующие рекомендации: разгон груза может осуществляться как за счет силы тяжести, так и сжатым воздухом; для измерения скорости груза предлагается использовать оптическую систему с лазерными лучами, проходящими через диафрагму.

Требования к сбрасываемому грузу в Методике ЕРТА также не указаны, однако на рис. 4 показан груз

равного поперечного сечения с измерительной штангой и плоским соударяемым торцом. Также ничего не сказано о соосности соударения груза со штангой и центральности удара, что важно, т.к.

Рис. 4. Схема испытаний измерительной штанги

изгибные деформации искажают измерительный сигнал.

Скорость удара нормируется в пределах (10 ± 3) м/с. Допустимая погрешность измерения скорости удара и скорости отскока 1 %.

Если груз отскакивает после того, как отраженная волна в измерительной штанге достигла ее хвостовика, то скорость отскока принимают равной нулю⁵.

Рассмотрим баланс энергии, соответствующий проверочному испытанию измерительной штанги:

$$\frac{m_r}{2} v_{forward}^2 = W_{EPTA} + \frac{m_r}{2} v_{return}^2 + Z + Q, \quad (4)$$

где Z – потенциальная энергия собственных колебаний груза.

Из (4) следует

$$\frac{\Delta A - W_{EPTA}}{\Delta A} = \frac{Z + Q}{\Delta A} > \frac{Z + Q}{A_r}, \quad \text{где } A_r = \frac{m_r}{2} v_{forward}^2. \quad (5)$$

В зависимости от геометрии груза потенциальная энергия его собственных колебаний Z может достигать 10 % от кинетической энергии перед ударом. Соотношение (5) показывает, что в этом случае штанга, согласно Методике ЕРТА, должна быть признана непригодной для измерений, хотя истинной причиной ее выбраковки в данном случае будет неправильный выбор груза.

Известно, что механический удар сопровождается множеством паразитных (с точки зрения измерений) явлений (магнитострикция, магнитоиндукция, трибоэффект и др.). Они генерируют помехи, которые существенно снижают точность измерений. Эти помехи можно минимизировать с помощью специальной заделки выводов контактов тензодатчиков [8]. Без такой заделки нестабильность измерительной штанги может достигать 3...4 %⁶. Аналогичные погрешности вызывают намагниченность штанги и расклеп ее торца.

Методика ЕРТА не устанавливает требований к стабильности измерительных штанг. Таким образом, по критерию Методики ЕРТА, годной может быть признана и нестабильная штанга с высоким уровнем помех.

Проверка измерительной штанги, как она прописана в Методике ЕРТА, не позволяет определить погрешность измерения энергии ударного импульса электроинструмента, она дает лишь ее верхнюю оценку – 10 %. Для разработки ручного инструмента на сегодняшний день такая погрешность слишком велика [8].

В работе [9] представлена предлагаемая нами *альтернативная методика аттестации измерительной штанги и измерения энергии ударного импульса* с помощью Установки «УИПУ-4М».

Сущность методики состоит в следующем. Для аттестации измерительной штанги, воспользуемся законом сохранения количества движения при ударе. Запишем его в скалярном виде (ось координат направлена в сторону удара):

⁵ Данное требование Методики ЕРТА совершенно неприемлемо: исключить наложение прямого и отраженного импульсов можно правильным выбором геометрии груза, уменьшив его длину и, соответственно, длительность ударного импульса.

⁶ ООО «УДАРМАШ» разработаны прецизионные измерительные преобразователи (пики), в которых влияние указанных факторов минимально, а нестабильность измерительного тракта установки «УИПУ-4М» с учетом измерительных преобразователей не превышает 0,15 % [8].

$$mv_{forward} = ES \int_0^T \varepsilon(t) dt - mv_{return}, \quad v_{return} > 0. \quad (6)$$

Поскольку относительная деформация $\varepsilon(t)$ прямо пропорциональна регистрируемому электрическому напряжению $U(t)$, т.е. $\varepsilon(t) = \lambda \cdot U(t)$, где λ – коэффициент пропорциональности, то из соотношения (6) следует

$$\lambda = \frac{m(v_{forward} + v_{return})}{ES \int_0^T U(t) dt}.$$

Физический смысл коэффициента λ состоит в следующем: он представляет собой чувствительность всего измерительного тракта по отношению к относительной деформации, включая тензодатчики, усилители, аналого-цифровой преобразователь и конечный показывающий прибор. Таким образом, используя закон сохранения количества движения, мы фактически проводим сквозную калибровку измерительного тракта.

Теперь для выполнения измерений на ударной машине нам не нужно знать ни коэффициент тензочувствительности тензорезисторов, ни напряжение питания тензодатчиков, ни коэффициент усиления тензоусилителя и коэффициент Пуансона, т.е. все те значения, которые используются в Методике ЕРТА (см. формулу (3)). Выполнив образцовый удар на градуировочном стенде «СГУ-3»⁷ установки «УИПУ-4М» и определив коэффициент λ , мы аттестовываем измерительный преобразователь, а энергию ударного импульса рассчитываем по формуле:

$$E_s = \lambda^2 c ES \int_0^T U_s^2(t) dt, \quad (7)$$

где $U_s(t)$ – ударный импульс, зарегистрированный непосредственно при работе машины.

Преимущества предлагаемой методики таковы: при помощи одного образцового удара она позволяет определить коэффициент чувствительности измерительного тракта λ , скорость звука в измерительной штанге c и модуль Юнга E – все необходимые константы для вычисления энергии ударного импульса, входящие в формулу (3). И определить эти величины экспериментально, а не брать их из текста Методики ЕРТА. По нашим оценкам погрешность измерения энергии ударного импульса с помощью альтернативной методики составит около 3 % [9].

Согласно Методике ЕРТА измерительная пика должна быть изготовлена из стали марки 115 Cr V 3. Альтернативная методика позволит использовать для измерений рабочий инструмент ударных машин, имеющейся в розничной продаже, поскольку значения всех величин, необходимых для расчетов, можно определить экспериментально и, что немаловажно, с минимальной трудоемкостью.

Альтернативная методика аттестации измерительной пика и измерения энергии ударного импульса была апробирована ООО «УДАРМАШ» при испытаниях электрических отбойных молотков фирм «Интеркол», «BOSCH», «Hilti» и «Makita», представленных в работе [8].

Теперь можно перейти к анализу процедуры испытаний по Методике ЕРТА.

⁷ На стенде ударник разгоняется сжатым воздухом вверх и на свободном вылете, пересекая лучи оптической базы, наносит удар по измерительной штанге. Оптическая база стенда устанавливается с точностью $\pm 0,01$ мм, погрешность измерения скорости ударника 10 м/с составляет менее 0,1 %. При измерении скорости отскока, значение которой порядка 1,5 м/с, учитывается сила тяжести.

3. Методика испытаний электроинструмента

(5.1.3) The concrete block and the scale to determine the feed force shall be placed in a way that the operator is able to run the power tool without any disturbances.

(5.1.4) For machines without vibration reducing mechanisms, the feed force applied to the tool in addition to its weight shall be sufficient to ensure stable operation. However the feed force shall not exceed 250 N.

For machines with vibration reducing mechanisms, the feed force applied to the tool shall be such that the vibration reducing mechanism is able to operate as close as possible to normal without permanent overloading.

(5.1.5) During measurement the operator shall stand on a scale or on a similar device, which indicates the actual value, to ensure that he can control the feed force. The average feed force during the measurement shall be reported.

(5.2) The concrete block shall be prepared by a hole to the diameter of the test rod to ensure a proper guidance during measurement. The hole shall be between 5 to 10 mm deep.

Согласно Методике ЕРТА испытание ударной машины производится в руках человека-оператора при работе по бетонному блоку, как показано на рис. 5. В бетонном блоке выполняют отверстие, равное диаметру измерительной штанги. Глубина отверстия должна составлять от 5 до 10 мм.

Рис. 5. Схема испытаний электроинструмента по Методике ЕРТА
а) как она представлена в тексте Методики; б) реальная поза оператора

Методика ЕРТА не нормирует допуск на отверстие под измерительную штангу, место его расположения в бетонном блоке, предельную глубину внедрения измерительной штанги в бетонный блок. Также остается неясным, сколько отверстий под измерительную штангу может располагаться на поверхности блока, и каковы должны быть расстояния между ними.

Методика ЕРТА также не нормирует и требований к рабочей позе оператора.

Измерения проводят в установившемся режиме работы машины. Усилие нажатия на машину, создаваемое оператором, контролируется с помощью весов, на которых он стоит. Усилие нажатия должно быть достаточным для стабильной работы машины.

Критерий «стабильная работа машины» в Методике ЕРТА не объясняется.

Для машин без виброзащиты усилие нажатия в Методике ЕРТА ограничивается величиной 250 Н.

Про машины с виброзащитными устройствами сказано, что усилие нажатия не должно включать эти устройства в процессе работы. Каково предельное значение усилия нажатия

для таких машин, и как проверить работу виброзащитного устройства, из текста Методики ЕРТА неясно.

(5.2) The test rod shall not be stuck during the measurement.

Place the power tool with the inserted test rod into the prepared hole of the concrete block. It has to be ensured that there will be no bending moment due to the feed force, because otherwise the resulting friction at the tool holder would falsify the measurement.

(5.1.3) Ensure that the power tool, respective the test rod, is placed orthogonal to the surface of the concrete block.

Измерительная штанга должна располагаться вертикально перпендикулярно бетонному блоку. В процессе измерений она не должна застревать (заклинивать) в отверстии. Необходимо исключить изгибный момент от (несоосности) усилия нажатия, иначе силы трения в патроне ударной машины могут привести к искажению результатов измерений.

Мы считаем, что отверстие глубиной 5...10 мм не обеспечивает ориентацию штанги в процессе измерений, оно всего лишь фиксирует ее свободный конец на плоскости бетонного блока, чтобы в процессе работы электроинструмента штанга не «забегала» по его поверхности. Задача ориентации электроинструмента и измерительной штанги в пространстве целиком ложится на оператора.

Представим схему, показанную на рис. 5, а с учетом реальных размеров составляющих ее элементов.

Возьмем мощный электромолоток BOSCH GSH 11 VC Professional. Он имеет длину 680 мм и патрон SDS-MAX. Выбираем бетонный блок, минимальная высота которого равна 200 мм. В соответствии с табл. 1 выбираем измерительную штангу длиной 800 мм. Сложив эти данные и вычитая длину хвостовика штанги 90 мм, получим высоту, на которой будет находиться рукоятка электромолотка – 1590 мм.

Средний рост оператора (мужчины) 178 см. Значит, рукоятка молотка во время испытаний будет размещаться на уровне лица оператора, как показано на рис. 5, б. Таким образом, согласно Методике ЕРТА, во время испытаний оператор должен будет стоять, подняв руки вверх, удерживать молоток и осуществлять требуемое усилие нажатия 200...250 Н, поддерживая его постоянным и контролируя его величину по шкале весов, расположенных под ногами. Одновременно он должен будет сохранять перпендикулярность штанги по отношению к поверхности бетонного блока, чтобы избежать изгибного момента штанги.

В описанной позе вряд ли будет возможно корректно осуществить указанные процедуры.

По нашему мнению, чтобы сохранить типовую позу оператора при работе с электроинструментом, в схему испытаний Методики ЕРТА, показанную на рис. 5, следует внести подставку под ноги оператора и установить ее размеры в зависимости от длины электроинструмента и измерительной штанги.

Позиция авторов данной статьи по вопросу испытаний ручных ударных машин такова: испытания по определению энергетических, вибрационных и шумовых характеристик машин должны проводиться в одних и тех же условиях; для каждого вида испытаний нажимной узел и объект обработки должны быть одинаковы, усилие нажатия также одинаково. Измерения энергетических и виброакустических параметров желательно проводить одновременно. Реализация такого подхода к испытаниям отбойных молотков изложена в ГОСТ 55162 – 2012 [7].

Для дальнейшего анализа методики испытаний, рассмотрим энергетические и вибрационные характеристики ударных машин в зависимости от усилия нажатия [10]. Для примера возьмем пневматический отбойный молоток МО-2 производства ОАО «Томский электромеханический завод им.В.В.Вахрушева» (ТЭМЗ), работающий при давлении 0,4 МПа. Его энергия удара 27 Дж близка к характеристикам мощных электромолотков⁸.

⁸ При давлении сжатого воздуха 0,4 МПа частота ударов молотка МО-2 составляет 20 с⁻¹.

На рис. 6 вверху показаны кривые ударной мощности молотка МО-2 в зависимости от усилия нажатия и скорости внедрения инструмента (пики) в разрушаемый материал,

Рис. 6. Энергетические (а) и вибрационные (б) характеристики отбойного молотка МО-2 в зависимости от усилия нажатия:
 N – ударная мощность;
 L – уровень виброскорости в октавной полосе 16 Гц

полученные на стенде типа «СОРП» [7, 11]. На кривых наблюдается резкий рост ударной мощности в диапазоне усилий 50...150 Н. При дальнейшем увеличении усилия ударная мощность молотка практически неизменна, причем она не зависит от скорости внедрения инструмента (т.е. прочности разрушаемого материала).

На рис. 6 внизу представлены вибрационные характеристики того же молотка МО-2 – уровни виброскорости на основной частоте молотка в октавной полосе 16 Гц – также в зависимости от усилия нажатия и скорости внедрения инструмента.

Сопоставляя энергетические и вибрационные характеристики молотка, можно определить диапазон усилий, в котором работает виброзащитное устройство ударной машины.

Мы предлагаем перед проведением контрольных испытаний электроинструмента получать аналогичные характеристики – энергия удара (или ударная мощность) и уровень вибрации в зависимости от усилия нажатия – и по ним установить номинальное усилие нажатия для испытаний по Методике ЕРТА⁹.

Номинальным усилием нажатия по ГОСТ 55162 – 2012 [7] считается такое

минимальное усилие, при котором достигается 97 % от максимальной ударной мощности машины.

Исследования, проведенные ИГД им. А.А.Скочинского (далее – ИГД), ИГД СО РАН, ВЦНИИОТ ВЦСПС (МИОТ), Институтом медицины труда и профзаболеваний др. организациями показали, что работа ручной машины в руках человека-оператора дает большой разброс экспериментальных данных. Поэтому в СССР была принята и разработана концепция применения специальных стендов для испытаний ручных машин. Такой испытательный стенд моделирует типовую рабочую операцию с ударной машиной, механические свойства человека-оператора (механический импеданс руки) и объект обработки (объект разрушения) [7, 11-13].

Как показала практика, стенды обеспечивают высокую стабильность результатов испытаний. На стендах типа «СОРП» [11] с 1980 г. в ИГД и на «ТЭМЗ» проводились испытания

⁹ Номинальное усилие нажатие может быть указано производителем в Паспорте ударной машины.

отбойных, рубильных, клепальных молотков (типовые, периодические, приемо-сдаточные, сертификационные), а с 2001 г. – бетоноломов. Сличительные испытания между лабораториями ИГД и «ТЭМЗ» показали расхождение результатов по энергии удара и ударной мощности молотков не более 1,5 % [8].

Отметим, что Методика ЕРТА не приводит сведений о воспроизводимости изложенного в ней метода испытаний.

На наш взгляд, в силу отсутствия жестких требований к оператору ударной машины, его позе, усилию нажатия, сложности контроля усилия оператором, стоящим на весах и одновременно манипулирующим машиной, разброс измерительных данных при испытаниях по Методике ЕРТА будет большим, а трудоемкость испытаний значительной¹⁰.

С другой стороны, именно в силу отсутствия указанных требований, человек-оператор в Методике ЕРТА вполне может быть заменен испытательным стендом, который должен выполнять две функции: создавать требуемое усилие нажатия и обеспечивать перпендикулярность измерительной штанги по отношению к поверхности бетонного блока.

В целях повышения воспроизводимости результатов испытаний и уменьшения их трудоемкости, мы рекомендуем убрать из Методики ЕРТА человеческий фактор и использовать стенды для ручных ударных машин, обеспечивающие более стабильные условия испытаний.

Обратимся теперь к приемнику энергии удара, который в Методике ЕРТА представляет собой измерительную штангу и бетонный блок.

Нам известно, что торец хвостовика измерительной штанги должен иметь радиус не более 100 мм. Какова геометрия противоположного торца штанги, опирающегося на бетонный блок, в Методике ЕРТА не указано. В тексте Методики также ничего не говорится о разрушении бетонного блока, внедрении в него измерительной штанги, углублении отверстия под штангу при испытании ударной машины. Следует предположить, что штанга внедряется в бетон незначительно и конец штанги, опирающийся на бетонный блок, имеет плоский (или близкий к плоскому) торец¹¹.

Известно, что механические свойства объекта обработки (в данном случае бетонного блока) влияют на энергетические параметры ударной машины опосредованно через отскок ударника и вибрацию, вызванную обратными ударами штанги по корпусу машины [3-4, 10]. Согласно Методике ЕРТА измерительная штанга выбирается достаточно длинной, и волна, отраженная от бетонного блока, не накладывается на ударный импульс. Значит, отскок промассы и ударника (см. рис. 1) происходит раньше прихода отраженной волны, и потому ударная система электромолотка ничего «не знает» о свойствах материала, по которому наносится удар.

Мы отмечали, что при испытаниях ударная машина должна работать при значительных усилиях нажатия¹². В этом случае (см. рис. 6) энергетические характеристики машины практически не зависят от вибрации корпуса.

Таким образом, исходя из требований Методики ЕРТА, для испытаний электроинструмента выбор объекта обработки существенного значения не имеет. Это может быть бетонный блок, или стальная пластина, опирающаяся на лист сырой резины [8] или поглотитель энергии со стальными шариками по ISO 8662-5: 1992 [14]. Единственное требование к нему – отсутствие внедрения штанги в процессе испытаний.

В практике измерений энергетических параметров пневматических отбойных молотков на установке «УИПУ-4М» используется объект обработки в виде металлической пластины

¹⁰ Испытание отбойного молотка на стенде типа «СОРП» с получением его энергетических характеристик на Установке «УИПУ-4М» занимает не более 5 минут.

¹¹ На схеме испытаний измерительной штанги, рис. 4, показан именно плоский торец.

¹² При недостаточном усилии нажатия точка удара (точка встречи промассы и штанги относительно корпуса) «плавает» и энергетические характеристики машины нестабильны.

толщиной 6 мм из стали марки Ст.20, опирающейся на лист сырой резины толщиной 10 мм. Такой объект обработки проще и дешевле бетонного блока, регламентированного Методикой ЕРТА.

4. Обработка результатов испытаний

(5.2) The recorded length of data acquisition shall be at least 3 s and at least 75 impacts (for hammers with low impact frequency).

(6.2) The impact time T is here defined as the time between the beginnings of the first compression wave of the impact up to the beginning of the first reflected wave and is hereafter called evaluation time T_t .

In a first step the evaluation limits t_0 and t_1 have to be determined out of the measured signal. Therefore two straight lines along the flanks of the waves should be created, whereby the lines have to meet the waves both at 30 % and at 70 % of the maximum amount. The limits t_0 and t_1 are defined by the intersection of the line and the time axis T_t .

The offset value which has to be subtracted from the signal within the evaluation time is calculated from the average value of the signal within the time range T_t : $T_{off} = (t_0 - 1500 \mu s) - (t_0 - 50 \mu s)$.

Since the corrected signal differs from the original signal because of the offset correction, finally the evaluation limits t_0 and t_1 have to be determined once again in the algorithm.

If the reflected wave could not be clearly identified (for example superimposed impacts) the evaluation time is limited by $0,9 \times T_t$.

В процессе испытаний ударной машины по Методике ЕРТА записывается волновой процесс в измерительной штанге в течение не менее 3-х секунд (минимум 75 ударов). Типовой сигнал показан на рис. 8.

Из волнового процесса выделяются первые ударные импульсы, соответствующие каждому удару и выполняется коррекция нуля импульса по уровню сигнала в течение 1,5 мс перед импульсом.

К сожалению, алгоритм выделения первых ударных импульсов в Методике ЕРТА не изложен.

Рис. 8. Волновой процесс в измерительной штанге при работе отбойного молотка

Известно, что волновой процесс в инструменте ударных машин практически полностью затухает к моменту следующего удара [2, 8]. Поэтому первый ударный импульс сжатия, энергию которого необходимо измерить, следует искать при резком (скачкообразном) возрастании сигнала после его значительного затухания. Область нахождения ударного импульса обведена на рис. 8 овалом красного цвета.

На рис. 9, а эта анализируемая область показана в увеличенном масштабе времени. Первый ударный импульс выделен желтым цветом – от момента времени t_0 до момента времени t_2 , в которых напряжение и деформация равны нулю¹³.

Соответственно, длительность ударного импульса, т.е. длительность удара T равна $T = t_2 - t_0$. В момент времени t_2 разрывается контакт ударника (промассы электрического

¹³ Коррекция нуля перед импульсом предварительно проведена.

отбойного молотка) с измерительной штангой, и он отскакивает от нее. Ударный импульс в момент времени t_2 полностью сформирован и далее в неизменном виде движется к противоположному концу измерительной штанги.

Рис. 8. Обработка результатов измерений по Методике ЕРТА:

а) определение пределов интегрирования; б) импульсы, включенные в расчет

интегрирования. Но о третьем импульсе этого сказать нельзя: по длительности он сопоставим с первым ударным импульсом ($t_4 \approx T$), а его амплитуда составляет 12,7 % от амплитуды ударного импульса.

Мы численно проинтегрировали сигнал, выделенный желтым цветом на рис. 8, б. Энергия, заключенная в импульсах 1, 2 и 3 составила соответственно 1,47 % от энергии первого ударного импульса и 1,45 % от всей энергии выделенного сигнала.

На наш взгляд, это достаточно большая методическая ошибка, если к тому же принять во внимание, что первый и третий импульсы есть импульсы растяжения, которые физически никак не могут совершать полезную работу по ударному разрушению.

Импульсы, наблюдаемые после разрыва контакта измерительной штанги с ударником (промассой), могут возникать из-за отражений ударной волны от геометрических особенностей хвостовика штанги (наличие буртов, пазов, ступенчатых переходов между разными диаметрами и т.п.), повторных ударов промассы, а также от помех, вызванных

Все, что происходит после момента времени t_2 и регистрируется тензодатчиками, физически не имеет отношения к ударному импульсу и к его энергии, и потому не должно рассматриваться, измеряться и входить в расчеты. Таким образом, для получения физически корректной величины энергии ударного импульса интегрирование нужно производить на отрезке времени $[t_0, t_2]$.

Методика ЕРТА предлагает расширить расчетный интервал времени до момента прихода первого отраженного импульса (см. рис. 8, а). В частном случае сигнала, показанном на этом рисунке, ошибка будет невелика, т.к. на интервале $[t_2, t_1]$ сигнал близок к нулю, а при интегрировании сигнал возводится в квадрат.

С данным предложением можно было бы согласиться, если бы такой сигнал наблюдался всегда. Но на рис. 8, б, также взятом из примеров Методики ЕРТА, показана совершенно другая картина. После завершения формирования ударного импульса (момент времени t_2) последовательно наблюдаются три импульса — 1, 2 и 3. Амплитуды первых двух невелики, и они действительно не внесут значительного вклада в результат

явлениями, сопутствующими удару. Эти импульсы, в силу их малой амплитуды, не могут оказать влияние на процесс разрушения и потому рассматриваться и интегрироваться не должны.

Рассмотрим, как выполняются измерения ударных импульсов на Установке «УИПУ-4М».

В процессе работы ударной машины измерительный блок Установки «УИПУ-4М» записывает сигнал и осуществляет аппаратную селекцию ударных импульсов по амплитуде и по времени. Для селекции импульсов по амплитуде задается уровень срабатывания компаратора¹⁴, превышение которого свидетельствует о приходе очередного импульса сжатия. Импульс считается первым (соответствующим удару ударника по измерительной пику), если перед ним в течение длительного времени¹⁵ не было срабатываний компаратора (т.е. сигнал был ниже заданного уровня).

Как только новый первый импульс сжатия найден, запись приостанавливается, и вся временная реализация из буфера памяти измерительного блока передается на компьютер для дальнейшей обработки цифрового сигнала. Возобновление записи и анализа сигнала происходит через заданный интервал времени: обычно 10...15 мс достаточно для значительного затухания волнового процесса. Далее цикл поиска первого ударного импульса повторяется.

Для каждого ударного импульса программно выполняется коррекция нуля по уровню сигнала перед ударным импульсом. Далее по критерию нулевой деформации определяется начало и конец ударного импульса и рассчитываются его параметры: амплитуда (пропорциональна силе удара), длительность, площадь (пропорциональна количеству движения), площадь квадрата (пропорциональна энергии ударного импульса). Графики расчетных параметров каждого рабочего цикла отображаются на экране монитора в реальном масштабе времени. По окончании испытания можно анализировать ударные импульсы (каждый отдельно и выбранную группу), сравнить их со средним импульсом, и выполнить градуировку с расчетом энергии удара. Подробно работа Установки «УИПУ-4М» описана в работе [8].

5. Проверка программного обеспечения измерений

(4.6) For validating the evaluation algorithm, data with recorded signals which correspond to real hammers will be made available at EPTA. For each set of signals the mean value of the impact energy and the values of all individual impacts will be given. The results of the average values shall be achieved with an accuracy of $\pm 1\%$. For the comparison of single-impacts a deviation of $\pm 2,5\%$ is allowed.

Проверка алгоритма расчета энергии ударного импульса согласно Методике ЕРТА производится по специальным данным, имитирующим сигнал реальной ударной машины. Данные предоставляются Ассоциацией ЕРТА. Вместе с каждым набором данных даются расчетные значения энергии для каждого ударного импульса и для средних значений энергии. Средние значения энергии ударного импульса не должны отличаться более чем на $\pm 1\%$ от расчетных значений, предоставленных ЕРТА. Допустимые отклонения в значениях энергии для каждого удара составляют не более $\pm 2,5\%$.

Мы предлагаем наряду с проверкой программного обеспечения выполнять проверку измерительного комплекса в целом. Для этого необходимо иметь аттестованный эталонный электроинструмент, для которого определены энергетические параметры в соответствии с Методикой ЕРТА. Было бы целесообразно установить критерии такой проверки и таким образом аттестовать измерительные системы, разработанные членами Ассоциации ЕРТА.

¹⁴ Компаратор – электронная схема, сравнивающая сигнал с заданным уровнем напряжения.

¹⁵ Интервал времени выбирается равным от 1 мс до 5 мс.

6. Декларирование результатов испытаний

(6.3) For this evaluation three power tool samples are chosen at random. Each sample shall be measured three times, resulting in three impact energy values E_{Sm} . From these three values E_{Sm} the arithmetic average of the energy E_{Si} shall be calculated as follows.

$$E_{Si} = \frac{1}{3} \sum_{m=1}^3 E_{Sm}$$

None of the three values E_{Sm} shall deviate by more than $\pm 5\%$ from E_{Si} . Otherwise the measurement shall be repeated until the required deviation is achieved.

The three values E_{Si} are again averaged in accordance with equation to determine the declared value $\overline{E}_S$.

$$\overline{E}_S = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 E_{Si}$$

(7) The values shall be rounded to one decimal place. The final arithmetic average value $\overline{E}_S$ shall be declared.

Для проведения испытаний в произвольном порядке отбирают три образца электроинструмента. Каждый образец измеряют три раза и получают три значения энергии удара, из которых рассчитывают среднеарифметическое значение энергии.

Ни одно из трех измеренных значений не должно отличаться от среднего значения более чем на $\pm 5\%$. В противном случае измерения повторяют до тех пор, пока это условие не будет выполнено.

Чтобы определить заявленное значение энергии удара, полученные значения для каждой из трех машин снова усредняют. Результат округляют до одного десятичного знака после запятой и декларируют с пометкой «в соответствии с Методикой 05 ЕРТА».

Методика ЕРТА не отвечает на вопрос, насколько будет достоверным заявленное значение единичного энергии удара, если средние значения энергии для выбранных машин значительно отличаются друг от друга (например, более чем на $\pm 5\%$).

Следует отметить, что в международных и отечественных стандартах на методы испытаний ручных машин [14, 16] измеряемая характеристика машины декларируется в виде двухчислового значения: среднее арифметическое значение измеряемой величины и неопределенность полученного значения¹⁶. Величина неопределенности устанавливается (рассчитывается) в соответствии с погрешностью измерений и погрешностью испытаний, а также с учетом имеющейся информации о воспроизводимости метода испытаний.

Методика ЕРТА не содержит сведений о неопределенности декларируемых значений энергии ударного импульса и не дает методик расчета этой неопределенности.

С другой стороны, если значение физической величины представлено в виде одного числа, то в научно-технической литературе принято считать, что с доверительной вероятностью 97 % погрешность этого значения не превышает единицы последнего значащего разряда.

Таким образом, если паспортное значение энергии единичного удара электроперфоратора BOSCH GBH-5-4-DCE Professional по Методике ЕРТА равно 8,8 Дж, то из этого следует, что абсолютная погрешность определения энергии равна 0,1 Дж, а относительная погрешность – 1,1 %, включая погрешности измерений и испытаний ударной машины.

¹⁶ Неопределенность измерений вибрационных и шумовых характеристик электрических отбойных молотков декларируются паспортах фирм-производителей BOSCH, Hilti, Makita и др.

Но в Методике ЕРТА нет сведений об этих погрешностях¹⁷, как нет и стандартизированной аппаратуры для измерения энергии ударного импульса, для которой эти погрешности были бы официально установлены.

Поэтому с метрологической точки зрения достоверность значений энергии ударного импульса, декларируемых по Методике ЕРТА, по нашему мнению, недостаточно обоснована.

7. Испытания электрических молотков

В соответствии с рекомендациями, высказанными нами выше, были проведены испытания электрических отбойных молотков [8]. Для испытаний были выбраны молотки ИНТЕРСКОЛ М-10/1100Э, HILTI TE 500, Makita HMC0871C и электроперфоратор BOSCH GBH-5-4-DCE Professional.

Энергия ударного импульса измерялась с помощью установки «УИПУ-4М». Молотки испытывались на специальном стенде, показанном на рис. 9. Постоянное усилие нажатия на молоток 200 Н создавалось пневматическим прижимным устройством. Молоток 1 располагался вертикально, его рабочий инструмент 2 опирался на измерительную пика 3 установки «УИПУ-4М» с тензодатчиками 4 (см. ГОСТ 55162–2012 [7]) и центрировался переходником 5. Приемником энергии удара служила металлическая пластина 6 толщиной 6 мм, лежащая на листе сырой резины 7 толщиной 10 мм.

Рис 9. Стенд для испытаний электрических молотков

а) схема испытаний, б) фото молотка Makita HMC0871C на стенде

1 – молоток, 2 – рабочий инструмент; 3 – измерительная пика; 4 – тензорезисторы; 5 – переходник; 6 – металлическая пластина; 7 – лист сырой резины

¹⁷ Согласно Методике ЕРТА в каждом измерении записывается не менее 75 ударов, для каждого из которых рассчитывается энергия ударного импульса. По этой выборке можно было бы оценить дисперсию энергии и рассчитать погрешность от разброса экспериментальных данных.

Результаты испытаний показаны на рис. 10 и подробно представлены в работе [8]. Для расчета энергии ударного импульса в рабочем инструменте W использовалась зависимость [15].

$$W = \alpha^2 E_s, \quad \alpha = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{d^2}{d_m^2} \right],$$

где α – коэффициент прохождения волны через границу сопряжения рабочего инструмента и измерительной пики; E_s – энергия ударного импульса в измерительной пики (см. формулу (7)); $d = 24$ мм и $d_m = 18$ мм – диаметры измерительной пики и рабочего инструмента соответственно.

Паспортное значение молотка HILTI по Методике ЕРТА равно 7,5 Дж; наш результат 8,3 Дж выше на 10,7 %. Паспортное значение перфоратора BOSCH по Методике ЕРТА – 8,8 Дж; наш результат 8,3 Дж ниже на 5,7 %. Паспортное значение молотка Makita по Методике ЕРТА – 8,1 Дж; наш результат 10,9 Дж выше на 34,6 %¹⁸.

Оценка погрешности полученных значений энергии ударных импульсов дана в работе [9]. Она составила $\pm 2,8$ %.

По нашему мнению, выявленные расхождения с паспортными значениями энергии единичного удара электрических машин связаны с различием методик испытаний и различием аппаратуры. Они требуют детальных исследований, и мы надеемся, таковые будут выполнены в дальнейшем.

Рис 10. Энергетические характеристики электрических молотков

И все же мы считаем необходимым отметить следующее.

Испытания электроинструмента проводились по единой методике, в одних и тех же условиях, с помощью стабильной аппаратуры. Получены стабильные результаты. По нашим данным молоток Makita имеет энергию ударного импульса на 31,3 % выше, чем перфоратор BOSCH и молоток Hilti. По Методике ЕРТА выходит наоборот: он на 8,0 % слабее их. В работе [8] показано, что ударный импульс молотка Makita имеет более высокую амплитуду удара и большую

площадь, чем у молотка Hilti и перфоратора BOSCH. Такое различие ставит вопрос о сличительных испытаниях между лабораториями фирм-производителей электроинструмента и о воспроизводимости результатов испытаний по Методике ЕРТА.

Причины несоответствия относительных энергетических параметров молотков нам неизвестны, но среди возможных причин – нестабильность измерительных штанг и разница в торцах хвостовиков.

Радиус торца измерительной пики является весьма сильным фактором, влияющим на энергию удара [2]. В зависимости от величины радиуса торца ударника энергия ударного импульса может различаться на 15 %. [8].

¹⁸ По Методике фирмы Makita энергия удара молотка HMC0871C составляет 11,6 Дж.

Кривизна соударяемого торца измерительной штанги оказывает аналогичное влияние. Методика ЕРТА нормирует только его максимальное значение – 100 мм. В ГОСТ 55162 – 2012 радиус торцов измерительной пики нормируется так: 125 ± 25 мм.

Во избежание ошибочных результатов измерений, мы рекомендуем в Методике ЕРТА задать пределы изменения радиуса соударяемого торца измерительной штанги.

8. Выводы

1. Под единичной энергией удара в Методике ЕРТА понимается энергия ударного импульса, т.е. энергия первой волны сжатия, возникающей при ударе в рабочем инструменте ударной машины. Такой подход отличается от традиционного представления об энергии удара как кинетической энергии ударника перед ударом по инструменту.
2. Переход к измерению и нормированию энергии ударного импульса является важным и весьма прогрессивным шагом в развитии тензометрического метода регистрации ударных процессов, в исследовании и разработке машин ударного действия. Методика ЕРТА является первым опытом нормирования энергии ударного импульса для ручных машин ударного действия и первым опытом стандартизации метода испытаний электроинструмента, разработанного для этой цели.
Наряду с указанными достоинствами, Методика ЕРТА имеет ряд существенных недостатков, которые мы постарались указать в настоящей статье, и предложить пути их устранения:
3. В Методике ЕРТА нет ответа на вопрос о точностных характеристиках предлагаемого метода измерения энергии ударного импульса. Поскольку для регистрации ударных процессов нет стандартизованной измерительной аппаратуры, мы считаем необходимым дать в Методике ЕРТА оценку погрешности измерения энергии ударного импульса, желательно с примерами для типовых ударных машин.
4. В Методике ЕРТА также нет информации о воспроизводимости метода испытаний. По нашему мнению, такую информацию в Методику следует включить.
5. Результат испытаний электроинструмента в Методике ЕРТА декларируется в виде одночислового значения средней единичной энергии удара. В отечественных и зарубежных стандартах декларируемые характеристики ручных ударных машин (например, уровни шума и уровни вибрации) даются в виде двухчислового значения – средней величины и ее неопределенности, которая учитывает погрешности измерений, разброс экспериментальных данных и сведения о воспроизводимости метода испытаний. Мы рекомендуем в Методике ЕРТА также декларировать неопределенность среднего значения единичной энергии удара, что увеличит информативность декларации и позволит точнее сравнивать между собой машины разных марок.
6. Кроме тестовых сигналов, по которым каждая фирма-член ЕРТА должна проверять реализованный ею алгоритм расчетов, на наш взгляд, было бы целесообразно создать единое программное обеспечение для испытаний электроинструмента и распространить его среди всех членов Ассоциации ЕРТА; также было бы целесообразно создать банк эталонного электроинструмента, прошедшего измерения согласно Методике ЕРТА, по которому можно проверить работу конкретной измерительной системы. Рациональным решением было бы создание единого центра испытаний, выполняющего измерения энергии ударного импульса для всех производителей электроинструмента, входящих в Ассоциацию ЕРТА.
7. Поскольку работа ударной машины в руках дает большой разброс экспериментальных данных, мы рекомендуем в Методике ЕРТА отказаться от «человеческого фактора» и использовать специализированные стенды для испытаний электроинструмента, имитирующие объект обработки и механические свойства человека-оператора.

8. Предложена альтернативная методика измерения энергии ударного импульса, основанная на аттестации измерительной штанги с использованием закона сохранения количества движения при ударе. Методика позволит отказаться от использования в расчетах табличных величин для механических констант штанги, как это предусмотрено в Методике ЕРТА, и определять эти константы экспериментально на специальном прецизионном стенде с помощью образцовых ударов. Альтернативная методика позволит выполнять измерения энергии ударного импульса с погрешностью не более 3 %.
9. В соответствии с предложенной альтернативной методикой измерений энергии ударного импульса на Установке «УИПУ-4М» проведены испытания 4-х ударных электрических машин фирм ИНТЕРСКОЛ, Hilti, BOSCH и Makita. Показано, что энергия ударного импульса электромолотка Makita HMC0871C, декларированная согласно Методике ЕРТА, занижена по сравнению с характеристиками электроперфоратора BOSCH GBH-5-4-DCE Professional и молотка HILTI TE 500.
10. Методика ЕРТА является корпоративным нормативным документом организации «The European Power Tools Association» и до сих пор не была опубликована в широкой, доступной прессе. По своему статусу Методика ЕРТА обязательна для всех производителей электроинструмента на европейском (и отчасти азиатском) рынке. Такой документ не может быть закрытым от потребителей ударных машин и научной общественности, которые вправе знать, какими методами оцениваются энергетические параметры ударных электрических машин, поступающих на международный рынок. Эти методы должны быть обсуждаемыми, т.к. без обсуждения не может быть их развития. Принимая во внимание многочисленные и принципиальные, с точки зрения авторов данной статьи, недостатки Методики ЕРТА, отмеченные выше, считаем целесообразным опубликовать ее для широкого обсуждения.

Список литературы

1. ЕРТА – The European Power Tools Association. Procedure 05 “Measurement of the single impact energy of rotary hammers and breakers. – 23 p., 2016 / Европейская Ассоциация Производителей Электроинструмента. Методика измерения единичной энергии удара перфораторов и отбойных молотков. - 2016. – 23 с.
2. Александров Е.В., Соколинский В.Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. - М.: «Наука», 1969 г. – 201 с.
3. Соколинский В.Б. Машины ударного разрушения (Основы комплексного проектирования). – М.: Машиностроение, 1982. – 184 с.
4. Суднишников Б.В., Есин Н.Н., Тупицын К.К. Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия. – Новосибирск: Наука, 1985. – 226 с.
5. ИСО 2787:1984 Инструменты пневматические ротационные и ударные. Эксплуатационные испытания (ISO 2787:1984 Rotary and percussive pneumatic tools – Performance tests). – 19 с.
6. Кашаев В.А. Определение энергетических параметров пневматических молотков тензометрическим методом // Сб. науч. тр. ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1987. – С. 104-107.
7. ГОСТ 55162 – 2012 Оборудование горно-шахтное. Молотки отбойные пневматические. Требования безопасности и методы испытаний. - М.: Стандартинформ, 2014. – 28 с.
8. Кашаев В.А., Ямпольский Д.З. Тензометрический метод измерения удара. Российский опыт. Достижения и перспективы. // Вестник научно-технического развития. – 2017. – № 2 (114). – <http://www.vntr.ru/ftpgetfile.php?id=1011> (дата обращения: 6 декабря 2016 г.)

9. Ямпольский Д.З., Ванаев В.С. Анализ методики испытаний электрических машин с целью определения энергии удара. // Вестник машиностроения № 7. – 2018. – С. 47-54.
10. Ямпольский Д.З. Моделирование вибрации отбойного молотка и выбор рациональных параметров виброзащиты: диссертация ... кандидата технических наук: 05.05.06 / АН СССР, Ин-т горн. дела им. А. А. Скочинского. – Москва, 1991. – 278 с.: ил.
11. Ванаев В.С., Готлиб Я.Г., Кашаев В.А., Ямпольский Д.З. Оценка вибрационной безопасности отбойных молотков посредством стендовых испытаний // «Безопасность жизнедеятельности». – М.: Из-во «Новые технологии». – 2016. – № 4 (184)– С. 3-17.
12. ГОСТ 16844–93 Межгосударственный стандарт. Вибрация. Требования к испытаниям механических молотков. - М.: Стандартинформ, 2006. – 6 с.
13. Р 50-609-32-87 Рекомендации. Методика аттестации средств контроля вибрации ручных машин / ВЦНИИОТ ВЦСПС, Утверждены приказом Горьковского филиала ВНИИНМАШ от 31.12.87 № 119 – М.: Ротапринт ВНИИНМАШ, 1988. – 44 с.
14. ГОСТ 30873.5-2006 (ИСО 8662-5:1992) Ручные машины. Измерения вибрации на рукоятке. Часть 5. Бетоноломы и молотки для строительных работ. - М.: Стандартинформ, 2008. – 14 с.
15. Манжосов В.К., Слепухин В.В. Моделирование продольного удара в стержневых системах неоднородной структуры. - Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 208 с.
16. ГОСТ 31337-2006 (ИСО 15744:2002) Шум машин. Машины ручные неэлектрические. Технический метод измерения шума. - М.: Стандартинформ, 2007. – 23 с.

Дата поступления: 28 сентября 2018 г.