

УДК 677.016.671.3: 614.872.5:622.232.3

К ВОПРОСУ ВИБРАЦИИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ОТБОЙНЫХ МОЛОТКОВ

© Дмитрий Зиновьевич Ямпольский

Общество с ограниченной ответственностью «УДАРМАШ», Москва, Россия
udarmash@mail.ru

***Аннотация.** В статье обсуждаются методы вибрационных испытаний пневматических отбойных молотков. Дан анализ действующих в РФ испытательных кодов: ГОСТ Р 55162 на молотки для горных работ и ГОСТ Р ИСО 28927-10 на молотки общепромышленного назначения. Представлены результаты испытаний отечественных и зарубежных молотков. Выявлены достоинства и недостатки испытательного стенда по ГОСТ Р 55162 и нагрузочных устройств DYNALOAD. Предложены пути совершенствования методов испытаний с целью оценки вибрационных характеристик молотков в реальных условиях эксплуатации.*

***Ключевые слова:** пневматический отбойный молоток, испытательный код по вибрации, ГОСТ Р 55162, ГОСТ Р ИСО 28927-10, DYNALOAD, вибрационная характеристика.*

ON THE ISSUE OF PNEUMATIC JACKHAMMERS VIBRATION

© D.Z. Yampolsky

The limited liability company «UDARMASH», Moscow, Russia
udarmash@mail.ru

***Abstract.** The article discusses the methods of testing pneumatic jackhammers for vibration. The analysis of the test codes in force in the Russian Federation is given: GOST R 55162 for hammers for mining and GOST R ISO 28927-10 for hammers for general industrial purposes. The results of tests of domestic and foreign hammers are presented. The advantages and disadvantages of the test bench according to GOST R 55162 and DYNALOAD devices are revealed. Ways of improving test methods to assess the vibration characteristics of hammers in real operating conditions are proposed.*

***Keywords:** pneumatic jackhammer, vibration test code, GOST R 55162, GOST R ISO 28927-10, DYNALOAD, vibration characteristics.*

Частное мнение по одному частному, но важному вопросу

За последние 70 лет отечественная наука по машинам ударного действия достигла выдающихся успехов [1-6]. Усилиями ученых Института горного дела им. А.А. Скочинского (ИГД), ИГД СО РАН, ЦНИИПодземмаша, Томского политехнического института и инженеров Томского электромеханического завода им. В.В. Вахрушева (ТЭМЗ) были

разработаны и в настоящее время серийно выпускаются пневматические отбойные молотки (далее молотки), уровень скорректированной виброскорости которых составляет менее 115 дБ¹. С такими молотками согласно ГОСТ 17770 безопасно работать 216 минут в смену.

По сравнению с молотками ОМСП, МО-9П, МО-10П, выпускавшимися в 50...70-х годах прошлого века, современные отбойные молотки имеют:

- ударную мощность, увеличенную на 20...25 %;
- массу, сниженную на 10...15 %;
- усилие нажатия, уменьшенное с 400 Н до 200 Н;
- уровень звуковой мощности, сниженный до 102 дБА;
- вибрацию, уменьшенную в 8 раз (на 18 дБ).

Сегодня в РФ эксплуатируется более 150000 молотков с такими техническими характеристиками. Их выпускают ТЭМЗ (АО) и «ТоМаш» (ООО), они поступают из-за рубежа от различных производителей из КНР.

Это ли не решение одной из важнейших социальных задач по обеспечению безопасных и комфортных условий труда?

Рассмотрим вопрос подробнее. Нас будут интересовать методы установления вибрационных характеристик молотков и соотнесение их с вибрацией на рабочих местах в реальных условиях эксплуатации.

По энергии единичного удара, частоте ударов (определяемых при номинальном давлении 0,5 МПа), массе и длине молотки делятся на четыре типоразмера² согласно таблице 1.

Таблица 1

Типоразмерный ряд отбойных молотков

Наименование параметров	Нормы для типоразмеров			
	1	2	3	4
Энергия единичного удара, Дж, не менее	29,5	36	42	55
Частота ударов, с ⁻¹ (предельное отклонение +10%, -6%)	25	22	18,5	14,5
Ударная мощность, не менее	810			
Удельный расход свободного воздуха, м ³ /мин/кВт, не более	1,5			
Масса молотка, кг, не более	7,8	8,5	9,0	10,0
Длина молотка, мм, не более	540	580	630	710

Снижение вибрации молотков достигнуто на стенде СОРП (стенд для определения рабочих параметров молотков), разработанном в ИГД в 70...80-е годы [6]. Стенд испытал несколько модификаций, его схема, вошедшая в ГОСТ Р 55162, представлена на рис. 1.

¹ В настоящее время вибрация оценивается полным ускорением, суммирующим скорректированные по частоте средние квадратические значения по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Согласно Санитарным нормам СанПиН 1.2.3685-21, принятым в 2021 г., его предельно допустимое значение равно 2,0 м/с². В статье используется оценка вибрации согласно ГОСТ 17770 по уровню виброскорости в дБ: $20\lg(v/(5 \cdot 10^{-8}))$, где v – среднее квадратическое значение скорректированной виброскорости в направлении оси ударов молотка или ее уровень в октавной полосе 16 Гц. Безопасный уровень виброскорости равен 112 дБ ($2 \cdot 10^{-2}$ м/с).

² Типоразмерный ряд принят для отечественных молотков, у импортных молотков более широкий ряд моделей.

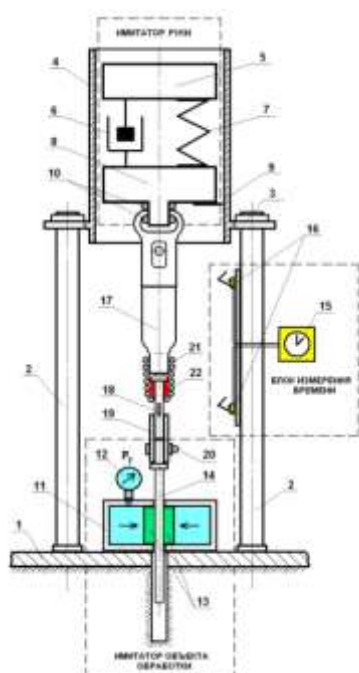


Рис. 1. Принципиальная схема испытательного стенда СОРП

1 – станина; 2 – колонны; 3 – траверса; 4 – цилиндрическая направляющая; 5 – груз, обеспечивающий усилие нажатия; 6 – демпфер с коэффициентом сопротивления 400 ± 80 Н·с/м; 7 – пружина с коэффициентом жесткости 2500 Н/м; 8 – присоединенная масса руки 3,6 кг; 9 – нажимная планка; 10 – упругая прокладка из рукава по ГОСТ 18698 с коэффициентом жесткости 270000 Н/м; 11 – гидравлические тиски; 12 – манометр; 13 – фрикционные вкладыши; 14 – испытательная скалка; 15 – секундомер; 16 – контактные выключатели; 17 – молоток; 18 – измерительная пика; 19 – резиновая соединительная муфта; 20 – хомут; 21 – концевая пружина; 22 – резиновая втулка

Нажимное устройство стенда представляет собой имитатор руки человека-оператора [7], оно состоит из груза 5, обеспечивающего усилие нажатия на молоток, демпфера 6 и пружины 7 (параметры сгиба в локте), присоединенной массы руки 8 и упругой резиновой прокладки 10 (имитация мягких тканей ладони).

Имитатор объекта обработки стенда (приемный узел энергии удара) включает гидравлические тиски 11 с фрикционными вкладышами 13, в которых при ударе перемещается испытательная скалка 14. Измерительная пика 18, аналогичная рабочей пике молотка, соединена со скалкой резиновой муфтой 19 и стянута хомутом 20. Пика имеет равное поперечное сечение со скалкой, при ударе она практически не отскакивает от нее [3], а совместно со скалкой перемещается в гидравлических тисках³.

Схема моделирует защемление пики в разрушаемом материале.

Молоток на стенде устанавливается вертикально вниз; между концевой пружиной 21 и буртом измерительной пики (снизу) устанавливается резиновая втулка 22; она выбирает свободный ход пики внутри концевой пружины.

Методика вибрационных испытаний молотков разработана ИГД и включена в ГОСТ Р 55162. За ее основу взяты технические условия ТЭМЗ⁴ (ТУ 3141-194-00165600-98 «Молотки отбойные пневматические типа МО. Технические требования – далее ТУ).

Испытания проводятся при:

- давления сжатого воздуха $0,5 \pm 0,05$ МПа (измеряется в ресивере емкостью не менее 10 л, соединенном с молотком рукавом длиной $5 \pm 0,25$ м и внутренним диаметром 16 мм);
- статической силе нажатия на молоток 200 Н (предельное значение по ГОСТ 17770);
- средней скорости пробивки скалки $v_{cp} = 1,8 \pm 0,2$ см/с (рассчитывается по времени прохода молотком стандартной базы между контактными выключателями 16).

³ Отскок определяется радиусами соударяемых торцов пики и скалки; на стенде он гасится резиновой муфтой.

⁴ До конца 90-х годов ТЭМЗ был фактически единственным в РФ массовым производителем отбойных молотков, средства и методы испытаний разрабатывались на основе выпускаемых им молотков.

При испытаниях определяются следующие вибрационные характеристики: средние квадратические значения скорректированного виброускорения по ГОСТ 16519 или виброскорости по ГОСТ 17770 и ее уровни в октавных полосах 8...1000 Гц.

Результаты по вибрации молотков получены по этой методике на данном стенде.

Возникают вопросы: *почему используется именно такой стенд, такое давление сжатого воздуха, такое усилие нажатия и скорость пробивки скалки; насколько выбранная методика испытаний воспроизводит работу отбойного молотка в реальных условиях эксплуатации?*

Постараемся дать ответы на эти вопросы.

В международном стандарте ГОСТ 12.2.010, устанавливающем требования к испытаниям ручных машин, сказано:

4.3.1. Вибрационные параметры определяются при выполнении представительной технологической операции, для выполнения которой предназначена машина, или с использованием имитатора объекта обработки. Указанные параметры должны быть приведены в паспорте машины.

4.3.2. Представительный объект обработки выбирают из реальных объектов наиболее характерных для машин конкретных видов.

Что такое представительная технологическая операция?

Это массовое применение молотков в однотипных условиях по типовому объекту обработки.

Такая типизация характеризуется:

- положением молотка в пространстве;
- давлением сжатого воздуха;
- статическим усилием нажатия;
- позой человека-оператора и положением его рук относительно ударной машины;
- приемами работы (величиной снимаемой стружки, скоростью и глубиной внедрения инструмента, чередованием во времени работы и пауз).

Какова же представительная технологическая операция для пневматического отбойного молотка? Каков для него представительный объект обработки? Какие параметры для выполнения вибрационных испытаний указаны в технической документации молотков?

В Паспорте и Руководстве по эксплуатации молотков ТЭМЗ, ООО «ТоМаш», а также других производителей читаем:

Молотки отбойные пневматические... предназначены для разрыхления твердого и промерзшего грунта, пробивки проемов и отверстий в кирпичных стенах зданий, разборки кирпичных кладок, раскалывания льда, отбойки угля различной крепости, добычи мягких руд, глины, сланца и других строительных и горных работ.

При выборе молотка необходимо руководствоваться следующим:

...на легких работах (при добыче глины, мягких углей, раскалывании льда и т.д.) следует применять молотки МО-1Б...

...на работах средней тяжести (при добыче мягких пород, угля мягкой и средней крепости) следует применять молотки МО-2Б...

...на работах, где требуется сравнительно большая энергия удара, следует применять молотки МО-3Б, МО-4Б...

Согласно этому описанию представительным объектом обработки следует полагать:

- для молотков 1-го типоразмера (МО-1Б) – глину и мягкий уголь;
- для молотков 2-го типоразмера (МО-2Б, МОП-2 и др.) – уголь средней прочности.

Для молотков 3-го и 4-го типоразмеров (МО-3Б, МОП-3, МО-4Б, МОП-4 и др.) представительный объект обработки не указан, он, видимо, относится к более прочным горным породам и материалам.

Конкретные физические характеристики представительных объектов обработки: наименование горной породы, марка угля, плотность, прочностные параметры, – в технической документации молотков не указаны.

Из параметров представительной рабочей операции в Паспортах молотков упоминается только диапазон рабочих давлений 0,3...0,5 МПа и длина воздухоподводящего рукава – не более 12 м.

Какой же объект обработки воспроизводит стенд СОРП и описанная выше методика испытаний молотков?

В СССР отбойные молотки выпускал единственный завод – ТЭМЗ, который относился к Министерству угольной промышленности. И молотки разрабатывались для горного производства, а именно, для угольных шахт.

В 70-е годы лаборатория динамики горных машин ИГД проводила испытания молотков на углещементных блоках. Целью этих работ был выбор параметров для воспроизведения работы молотка на испытательном стенде. В результате представительным объектом обработки был выбран средний по прочности уголь, для которого определена средняя скорость внедрения пики $1,8 \pm 0,2$ см/с при работе молотка вертикально вниз (ГОСТ 22044, в настоящее время он отменен).

В конце 80-х годов при разработке специализированных молотков для угольных шахт Донбасса инж. В.А. Кашаевым (ИГД) было установлено, что скорость внедрения пики в реальных условиях угольных шахт варьируется практически от нуля до 10 см/с [8].

На основании дальнейших исследований был выявлен ранее неизвестный источник вибрации «скачкообразное внедрение инструмента в разрушаемый материал», интенсивность которого существенно превышает санитарные нормы [9].

На рис. 2 показана зависимость уровня виброскорости молотка МО-2М⁵ в октаве 16 Гц (на частоте ударов) от скорости пробивки скалки на стенде СОРП [10]. График условно можно разделить на область крепких углей при $v_{cp} < 1$ см/с и область мягких углей $v_{cp} > 3$ см/с.

При скоростях менее 0,25 см/с и более 7,5 см/с вибрация превышает уровень 124 дБ, который является недопустимым для ручных машин по нормам СН 2.2.4/2.1.8.566-96⁶ (СН-96).

В диапазоне 1,6...2,0 см/с, который нормируется в методике испытаний молотков, вибрация близка к минимальному значению и составляет 112...114 дБ. Отметим, что по санитарным нормам СН-96 безопасный уровень виброскорости равен 112 дБ.

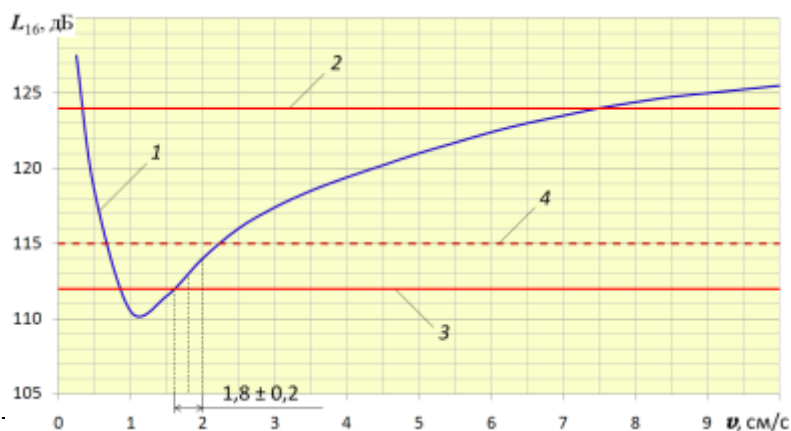


Рис. 2. Вибрация отбойного молотка МО-2М в зависимости от средней скорости пробивки скалки v_{cp} :

(стенд СОРП-3, давление сжатого воздуха 0,4 МПа, усилие нажатия 200 Н)

1 – уровень виброскорости рукоятки в октавной полосе 16 Гц; 2, 3 – недопустимый и безопасный уровень по нормам СН-96; 4 – норматив по ТУ на молотки ТЭМЗ

⁵ Модель, близкая к современному молотку МО-2Б, выпускалась на ТЭМЗ до 2001 г.

⁶ С марта 2021 г. нормы СН 2.2.4/2.1.8.566-96 отменены, и данный норматив в настоящее время не действует.

Работа по пробивке скалки пропорциональна энергии удара E_y , поэтому сила $F_{сж}$ сжатия фрикционных вкладышей в тисках определяется выражением:

$$F_{сж} \sim \frac{E_y}{\mu \Delta} = \frac{W}{\mu v_{ср}},$$

где μ – коэффициент трения; Δ – перемещение скалки за удар; W – мощность молотка.

В таблице 2 представлены паспортные и фактические энергетические параметры молотков ТЭМЗ, определенные тензометрическим методом [5] (давление 0,5 МПа, усилие нажатия 200 Н).

Таблица 2

Энергетические параметры молотков ТЭМЗ

Марка молотка	Энергия удара, Дж		Частота ударов, с ⁻¹		Ударная мощность, Вт		Удельный расход свободного воздуха, м ³ /(мин·кВт)	
	по факту	по паспорту	по факту	по паспорту	по факту	по паспорту	по факту	по паспорту
МО-1Б	32,8	≥ 31	28,3	≥27,5	930	≥ 850	1,37	≤ 1,5
МО-2Б	40,3	≥ 39	23,3	≥22,5	938	≥ 875	1,37	≤ 1,5
МО-3Б	47,8	≥44	20,3	≥19,2	970	≥ 845	1,36	≤ 1,5
МО-4Б	55,9	≥55	17,4	≥17,0	972	≥935	1,34	≤ 1,5

Молотки всех четырех типоразмеров имеют примерно одинаковую мощность: различие не превышает 5 %. Значит, сила сжатия гидравлических тисков при испытаниях практически одинакова. Таким образом, для всех типоразмеров на стенде моделируется единый объект обработки – уголь средней прочности.

Отбойка угля в шахтах производится в основном молотками первого и второго типоразмера. В зависимости от выполняемой технологической операции – рубка кутка, подбой, отбойка весового угля – молоток может работать и вертикально вверх, и горизонтально, и вертикально вниз. Но основное время работы занимает именно отбойка угля, поэтому для молотков 1-го и 2-го типоразмеров, используемых в шахтных условиях, можно принять представительной технологическую операцию «работа по углю вертикально вниз».

Третий типоразмер используют при проходке горных выработок, т.к. для разрушения вмещающих горных пород нужна повышенная энергия удара. Положение таких молотков большей частью горизонтально. Представительным объектом обработки для них трудно признать уголь средней прочности, а представительной технологической операцией – работу молотка вертикально вниз.

Молотки четвертого типоразмера появились в конце 90-х годов и «не участвовали» в разработке рассматриваемой методики испытаний; они практически не используются в угольных шахтах. Вопрос о применимости к ним данной методики испытаний остается открытым.

Молотки разрабатывались, испытывались и ставились на производство по результатам шахтных испытаний (в основном в Донбассе). По данным производственных испытаний молотков [9] давление сжатого воздуха в забоях шахт Донбасса, расположенных на глубине 800...1000 м от поверхности, не превышало 0,4 МПа, а средняя длина воздухоподводящего рукава от магистрали сжатого воздуха до забоя составляла 20 м. Эти значения значительно отличаются от указанных в Паспортах молотков.



Рис. 3. Зависимость уровней виброскорости L_{16} в октавной полосе 16 Гц от средней скорости внедрения пика v_{cp} при разрушении углецементного блока:

1 – серийный молоток МО-2М ТЭМЗ;
2 – молоток МОД-2 ИГД с виброзащитой;
3 – норматив по ТУ; 4 – недопустимый уровень по СН-96

На рис. 3 приведены результаты испытаний молотков МО-2М и МОД-2 [10] при разрушении углецементного блока средней прочности ($\sigma_{сж} \sim 1200$ МПа [11]) – работа вертикально вниз. Кривые 1 и 2 молотка качественно повторяют правую ветвь графика на рис. 2, полученную на стенде. Экспериментальные данные дают повод для сомнений в корректности выбранной скорости пробивки скалки $1,8 \pm 0,2$ см/с и методики вибрационных испытаний ГОСТ Р 55162, объектом которого являются молотки для угольных шахт.

Рассмотрим нажимное устройство стенда.

Схема замещения механического импеданса руки человека-оператора на стенде СОРП показана на рис. 4.

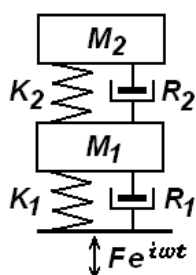


Рис. 4. Схема замещения механического импеданса руки человека-оператора на испытательном стенде СОРП:

K_1, R_1 – коэффициенты жесткости и сопротивления упругой прокладки стенда (моделируют мягкие ткани ладони и пальцев); M_1 – присоединенная масса руки; K_2, R_2 – коэффициенты жесткости и сопротивления сгиба руки в локтевом суставе; M_2 – масса груза, обеспечивающего усилие нажатия; F – модуль гармонической возмущающей силы с круговой частотой ω ; t – время; i – мнимая единица

Положению молотка вертикально вниз соответствует импедансная характеристика руки оператора по ГОСТ 12.4.094, Приложение 6, Таблица 20: рука полностью выпрямлена или согнута в локте под углом близким к 180° , усилие нажатия на рукоятку 200 Н, усилие обхвата рукоятки 100 Н.

Комплексное выражение импеданса этой двухмассовой системы $Z(\omega)$, Н·с/м определяется соотношением [7]:

$$Z(\omega) = \left(R_1 - i \frac{K_1}{\omega} \right) \left[\frac{(K_1 + i\omega R_1)(K_2 - M_2\omega^2 + i\omega R_2)}{(K_1 - M_1\omega^2 + i\omega R_1)(K_2 - M_2\omega^2 + i\omega R_2) - M_2\omega^2(K_2 + i\omega R_2)}, - 1 \right].$$

На рис. 5, а представлены расчетные характеристики нажимного устройства стенда: модуль 3 и фаза б импеданса в сравнении с ГОСТ 12.4.094 – кривые 1 и 4. Из графиков видно, что резонансная частота импеданса стенда равна 43 Гц вместо 25 Гц, и его характеристика совершенно не попадает в поле допуска ГОСТ 12.4.094.

В работе [7] предложена расчетная импедансная характеристика стенда, которая максимально приближена к нормируемым значениям. Характеристика показана на рис. 5, б – кривые 3, 6. Параметры схемы замещения для нее: $K_1 = 160000$ Н/м; $R_1 = 350$ Н·с/м; $M_1 = 6$ кг; $K_2 = 2000$ Н/м; $R_2 = 350$ Н·с/м; $M_2 = 20$ кг.

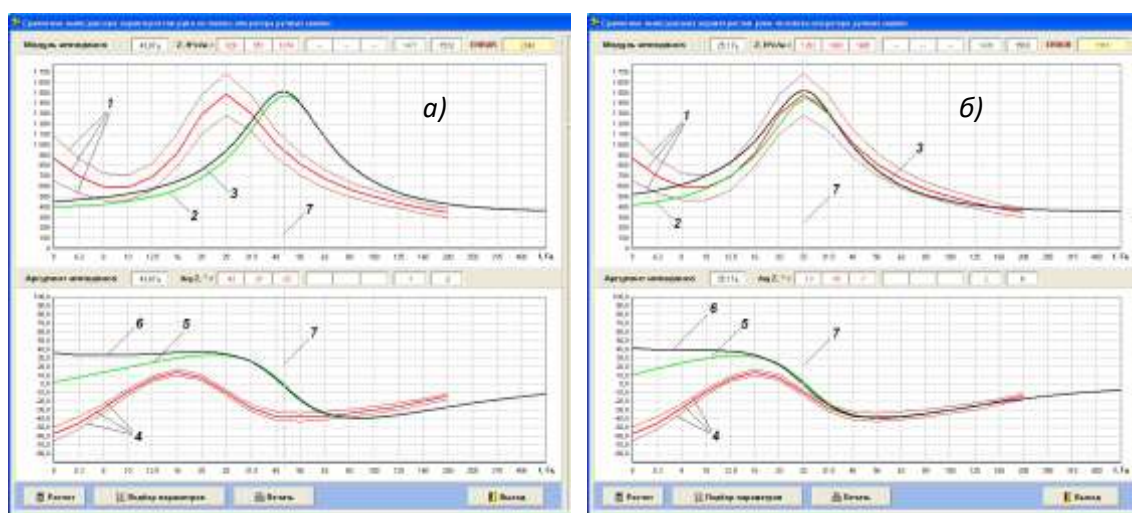


Рис. 5. Импедансные характеристики имитатора руки при усилии нажатия 200 Н
а) стенд СОРП по ГОСТ Р 55162, б) расчет в соответствии с ГОСТ 12.4.094

1, 4 – максимальные, средние и минимальные значения модуля и фазы импеданса руки человека-оператора по ГОСТ 12.4.094 (угол сгиба в локте 180°); 2, 5 – модуль и фаза импеданса по модели Дикмана [12]; 3, 6 – модуль и фаза импеданса двухмассовой системы замещения руки; 7 – визир

Тем не менее, и эта характеристика имеет серьезные фазовые расхождения с ГОСТ 12.4.094 на частотах менее 25 Гц (ниже резонанса).

В натуральных условиях оператор обычно держит молоток двумя руками, одна из которых (правая) опирается на рукоятку, а другая – на корпус или кожух-глушитель шума, соединенный с рукояткой. При работе с молотками, у которых Т-образная рукоятка: МО-4Б, МОП-4 и др., – оператор держит ее двумя руками. Опора на молоток только одной рукой нетипична. Нажимное устройство стенда должно имитировать не одну, а обе руки оператора, например, соответствовать рекомендациям [13].

Приведенный анализ показывает, что стенд СОРП и методика испытаний молотков по ГОСТ Р 55162 далеко несовершенны, как с точки зрения воспроизведения объекта

обработки (работа по углю в шахте), так и по имитации механических свойств человека-оператора.

А как обстоит дело с виброзаболеваемостью?

В 80-е годы в угольной отрасли ежегодно выявлялось до 300...500 случаев виброзаболеваний, большая часть из которых вызвана работой с отбойными молотками на очистных работах (добыча угля на шахтах Донбасса).

Согласно [14] в 2010-2015 гг. число вновь выявленных случаев виброболезни в угольной отрасли составило 300...450 человек, причем виброзаболеваемость занимает второе место после заболеваний от физических перегрузок и превосходит заболеваемость органов дыхания. Наиболее подвержены ей рабочие очистного забоя и проходчики, т.е. работники, контактирующие с ручными машинами: пневматическими отбойными молотками, перфораторами, горными сверлами и пилами.

Таким образом, виброзаболеваемость на угольных предприятиях никуда не исчезла, и вопрос создания машин со сниженной вибрацией, в том числе молотков для условий угольных шахт, остается по-прежнему актуальным⁷.

Обратимся к статистике.

В 1991 г. в СССР выпускалось 180...200 тысяч отбойных молотков 1-3 типоразмера. Годовая потребность угольной промышленности в молотках была 60...65 тысяч штук [11]. Молотками добывали высококачественные угли на шахтах Донбасса, Кузбасса и Воркуты. Горнорудная промышленность потребляла 3...5 тысяч молотков в год: в основном молотки первого типоразмера для добычи мягких руд. В Метрострой шло небольшое количество молотков – 500...550 шт. Остальные 120...130 тысяч штук – более 65 % серийного выпуска – направлялись для строительных работ.

Сегодня добыча угля в стране упала с 730 млн.т. в 1991 году до 402 млн.т. в 2020 г., и уголь в подземных условиях добывается не молотками, а комбайнами, стругами, механизированными комплексами. Молотки используются на вспомогательных операциях (выемка ниш) и при проходке горных выработок.

В настоящее время в РФ производится около 60000 молотков в год, примерно 40000 молотков импортируется, в основном из КНР. Главными потребителями молотков были и остаются сегодня строительная и дорожная отрасли РФ. Именно здесь надо искать типовые условия эксплуатации и представительные объекты обработки для молотков. И это будет не уголь, а, скорее всего, кирпичная кладка, асфальт и бетон.

Как работает молоток по бетону?

В исследовании [15] описаны эксперименты по ударному разрушению скальных горных пород, которым по своим свойствам аналогичен бетон. Пика при отбойке бетона разрушает его не при каждом ударе: за несколько ударов (обычно 5...10) она внедряется на небольшую глубину (до 1 мм), под острием пика возникает пылевое ядро, которое, расширяясь, формирует трещины, при последующих ударах они растут и приводят к видимому макроскопическому сколу большого объема. Пока не произошел скол, пика при ударах отскакивает от ядра (за счет сил упругости) и наносит обратные удары по корпусу молотка. Практически вся энергия, сообщенная ударником молотка пике, возвращается на корпус [11]. Таким образом, при работе по бетону пика не является защемленной, и схема испытаний по ГОСТ Р 55162 для имитации такой технологической операции некорректна⁸.

⁷ Молотки МОД-2 со сниженной вибрацией, разработанные ИГД, серийно не производились.

⁸ Для имитации бетона на стенде СОРП необходимо, как минимум, убрать хомут и заменить резиновую муфту на стальную со свободной посадкой в ней измерительной пике и хвостовика испытательной скалки (см. рис. 2), а также уменьшить скорость пробивки скалки.

ГОСТ Р 55162 распространяется на пневматические отбойные молотки, применяемые в горном производстве. Лабораторные методы вибрационных испытаний, установленные в нем, неприменимы к молоткам, предназначенным для строительства и дорожных работ.

К сожалению, таких специализированных молотков нет: все выпускаемые, ввозимые из-за рубежа и эксплуатируемые в РФ молотки универсальны по своему назначению. Для них с 2013 года действует другой стандарт – ГОСТ Р ИСО 28927-10, устанавливающий на государственном уровне метод испытаний, применимый ко всем типам молотков (в т.ч. и к молоткам как горно-шахтному оборудованию).

По классификации ГОСТ 12.1.012 – основополагающего государственного стандарта по вибрационной безопасности, ГОСТ Р ИСО 28927-10 является испытательным кодом по вибрации самого высокого уровня. Он идентичен международному стандарту ИСО 28927-10:2011 "Машины ручные. Методы испытаний для определения вибрационной активности. Часть 10. Молотки, ломы и перфораторы" (ISO 28927-10:2011 "Hand-held portable power tools - Test methods for evaluation of vibration emission - Part 10: Percussive drills, hammers and breakers").

Стандарт устанавливает лабораторные методы измерения вибрации на рукоятках ручных машин в целях заявления и подтверждения их вибрационных характеристик. Испытания производятся в руках человека-оператора на имитаторе объекта обработки DYNALOAD [16], представленном на рис. 6, б. Рабочая поза оператора молотка показана на рис. 6, а.

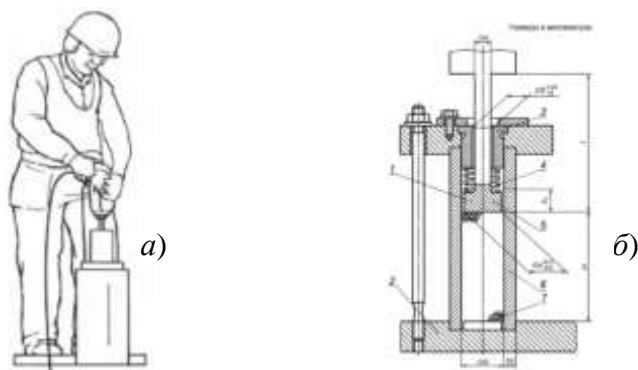


Рис. 6. Рабочая поза оператора молотка (а) и имитатор объекта обработки (б) по ГОСТ Р ИСО 28927-10

1 – имитатор вставного инструмента (вариант); 2 – стальная плита, устанавливаемая на бетонный блок; 3 – входная втулка; 4 – пружина (с небольшим предварительным сжатием, коэффициент жесткости менее 1,2 Н/мм); 5 – наковальня имитатора вставного инструмента из упрочненной стали твердостью 55 ± 2 HRC; 6 – труба из упрочненной стали твердостью 62 ± 2 HRC; 7 – шарики из закаленной стали твердостью не менее 63 HRC; d – диаметр хвостовика имитатора вставного инструмента; d_1 – толщина наковальни имитатора вставного инструмента; D – внутренний диаметр трубы; l – длина имитатора вставного инструмента, соответствующая стандартному рабочему инструменту машины; H – высота столба шариков

Разработчики стандарта не указали, какую типовую операцию моделирует такой лабораторный метод, и какой объект обработки он воспроизводит. По нашему предположению, т.к. в процессе испытаний не происходит внедрения инструмента, а при ударе последний должен отскакивать от столба закаленных шариков, такой объект обработки может соответствовать скальным горным породам или бетону.

Рассмотрим ГОСТ Р ИСО 28927-10 подробнее. Анализ проведем в сопоставлении с ГОСТ Р 55162, не только потому что это два действующих национальных стандарта по установлению вибрационных характеристик молотков; оба документа представляют воплощение советского и зарубежного опыта по созданию средств испытаний ручных машин и реализуют два различных подхода к обеспечению вибрационной безопасности.

ГОСТ Р ИСО 28927-10 нормирует испытания молотков в руках.

В нем сказано:

Во время испытаний поглотитель энергии или объект обработки устанавливаются таким образом, чтобы оператор мог выполнять рабочую операцию в удобной позе, выпрямившись, прилагая к машине силу подачи, направленную вертикально вниз.

8.5 Операторы.

В испытаниях участвуют три оператора. Поскольку оператор оказывает существенное влияние на вибрацию машины, к испытаниям могут допускаться только те из них, что имеют достаточный опыт работы с данными машинами и способны правильно выполнять рабочие операции с их применением.

8.4.4 Сила подачи⁹

Сила подачи в вертикальном направлении в совокупности с собственным весом машины должны обеспечить правильную и стабильную работу машины. При этом не должно происходить соприкосновения бурта вставного инструмента и патрона ручной машины.

Чрезмерной силы подачи следует избегать. Если машина снабжена устройствами снижения вибрации, то не следует перегружать их, чтобы не снизить эффективность работы этих устройств.

Для контроля и управления силой подачи оператор в процессе испытаний встает на весы. Тогда сила подачи будет равна весу оператора за вычетом показания весов.

Итак, оператору предоставлена свобода выбора усилия нажатия. Что он выберет, попытаемся понять, исходя из рис. 7, на котором представлены энергетические и вибрационные характеристики современных отечественных молотков (давление сжатого воздуха 0,4 МПа). Вибрация отбойного молотка зависит от его мощности, а мощность, в свою очередь, от давления сжатого воздуха и усилия нажатия [1-2, 11, 17]. При фиксированном давлении воздуха кривые мощности молотков (рис. 7, а) возрастают с увеличением усилия нажатия, достигая некоторого предельного значения и далее практически остаются постоянными. Уровни вибрации (рис. 7, б), наоборот, снижаются с ростом усилия нажатия, достигая минимума (в данном случае при 200 Н) и затем остаются примерно постоянными, стремясь к значению 114 дБ, определяемому средней скоростью пробивки скалки [11].

На интервале возрастания мощности (ориентировочно до 130 Н) уровень вибрации молотка МО-2, не имеющего виброзащиты, достигает более 130 дБ. Молоток МО-2М с пневморезиновым виброизолятором рукоятки выгодно отличается от МО-2 при усилиях нажатия менее 125 Н: виброзащита позволяет снизить уровень виброскорости до 114 дБ.

⁹ В отечественной литературе по машинам ударного действия применяется термин «статическая сила нажатия на рукоятку молотка» или просто «усилие нажатия».

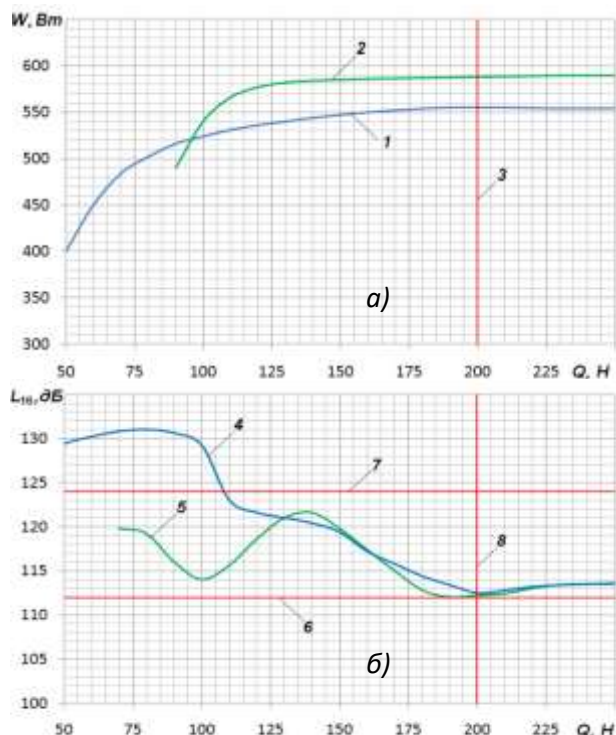


Рис. 7. Энергетические и вибросиловые характеристики молотков на стенде СОРП

а) мощность W , б) уровень виброскорости L_{16}
в октаве 16 Гц: Q – усилие нажатия;
давление воздуха 0,4 МПа, $v_{cp} = 1,8$ см/с

1, 4 – МО-2 без виброзащиты; 2, 5 – МО-2М с виброизолятором рукоятки; 3, 8 – максимальное усилие нажатия по ГОСТ 17770; 6, 8 – безопасный и недопустимый уровни вибрации по СН-96;

Если молоток не имеет виброзащиты, как в модели МО-2, оператору «не выгодно» нажимать на рукоятку свыше того значения, при котором прекращается рост мощности: в данном случае – 150 Н. При этом вибрация рукоятки молотка МО-2 будет высокой – 120 дБ.

При наличии виброзащиты – молоток МО-2М – оператору приходится выбирать между комфортной работой с уровнем вибрации 114 дБ при усилии 100 Н, но с меньшей производительностью – 540 Вт против номинальной мощности 590 Вт, и работой на полной мощности при усилиях нажатия 125...150 Н, но с уровнем вибрации 120...123 дБ.

Таким образом, в зависимости от «предпочтений» оператора, при испытании по ГОСТ Р ИСО 28927-10 можно получить существенно различные вибрационные характеристики одного и того же молотка.

В ГОСТ Р 55162 вопрос усилия нажатия при испытании молотков решается иначе.

В нем введены понятия:

3.6 максимальное усилие нажатия: Усилие нажатия, двукратно превышающее предельно допустимое значение для ручных машин по ГОСТ 17770 (раздел 5) – 200 Н; максимальное усилие нажатия – 400 Н.

Примечание – Как правило, даже при работе по материалам высокой прочности (бетон, гранит) усилие нажатия не превышает 400 Н.

3.7 предельные энергетические параметры ручной машины ударного действия: Совокупность значений энергии, частоты ударов и ударной мощности (E_{lim} , f_{lim} , W_{lim}) при работе с максимальным усилием нажатия 400 Н.

3.8 стабильная работа ручной машины ударного действия: Режим работы машины, при котором 97 % значений энергии и частоты ударов, определенных для последовательных рабочих циклов, отличаются от их средних значений не более чем на 10 %.

3.9 номинальный режим работы ручной машины ударного действия: Режим работы машины с минимальным усилием нажатия, при котором реализуется 97 % предельной ударной мощности W_{lim} .

3.10 **номинальное усилие нажатия;** $F_{ном}$, Н: Усилие нажатия при заданном давлении сжатого воздуха, соответствующее номинальному режиму работы ручной машины ударного действия.

3.11 **номинальные энергетические параметры ручной машины ударного действия:** Совокупность значений энергии, частоты ударов и ударной мощности ($E_{ном}$, $f_{ном}$, $W_{ном}$) при работе с номинальным усилием нажатия $F_{ном}$.

В ГОСТ Р 55162 до проведения испытаний молотка на вибрацию проводят предварительное исследование: при максимальном давлении сжатого воздуха (указывается изготовителем) определяют энергетические характеристики молотка: зависимость энергии, частоты ударов и ударной мощности от усилия нажатия – от нуля (включение молотка) до 400 Н – во всем диапазоне реальных усилий нажатия. По этим характеристикам устанавливают номинальный режим работы молотка и номинальное усилие нажатия, при котором определяют вибрационную характеристику машины.

11.1 Вибрационную характеристику отбойного молотка измеряют на вибрационном стенде при номинальном усилии нажатия $F_{ном}$, ... Для контроля режима работы молотка одновременно измеряют давление и расход воздуха, энергию и частоту ударов.

Так исключается «произвол» оператора и конкретизируется режим стабильной работы, в котором необходимо определять вибрационную характеристику молотка¹⁰.

Обратимся к приемнику энергии удара по ГОСТ Р ИСО 28927-10 – рис. 6, б. Стандарт устанавливает его конструкцию в виде стальной трубы с закаленными шариками и имитатор вставного инструмента, который существенно отличается от рабочего инструмента отбойных молотков: пик, зубил, лопаток. Правда, в стандарте дается ссылка на европейский документ DYNALOAD PNEUROP [16], где приведено несколько модификаций поглотителя энергии с различным вставным инструментом, в т.ч. два варианта имитатора, которые подобны отечественным пикам. Они показаны на рис. 8.

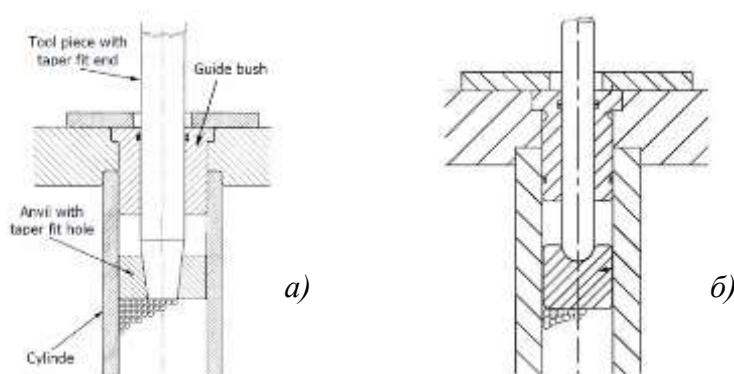


Рис. 8. Варианты имитатора вставного инструмента согласно DYNALOAD PNEUROP:

а) инструмент с коническим концом; б) инструмент с закругленным концом

Из данного документа неясно, какой из этих вариантов вставного инструмента следует предпочесть. В описании сказано, что вариант б) рекомендован для испытаний машин вращательного действия. Указаний по размерам конуса и кривизны торца инструмента,

¹⁰ Именно из-за того, что испытания молотков в руках дают значительный разброс вибрационных характеристик, связанный с многообразием неконтролируемых факторов, отечественный опыт рекомендует использование испытательных стендов, имитирующих динамические свойства рук человека-оператора.

опирающегося на наковальню (Anvil), также нет. А эти параметры оказывают существенное влияние¹¹ на отражение волн и отскок инструмента [3, 18].

В качестве иллюстрации влияния отскока пики, приведем вибросиловую характеристику молотка МО-2А (ТЭМЗ)¹² на стенде СОРП при давлении сжатого воздуха 0,5 МПа и скорости пробивки скалки $1,8 \pm 0,2$ см/с, представленную на рис. 9. Измерения выполнены в испытательной лаборатории «Безопасность горных машин», аккредитованной в Системе сертификации ГОСТ Р, аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.22МШ21 от 19.10.2006 г.

Как видно из этой характеристики, скорректированный уровень виброскорости рукоятки молотка МО-2А при усилии нажатия 200 Н составляет 123 дБ.

А по результатам периодических испытаний партии молотков МО-2А в лаборатории ТЭМЗ на таком же стенде, при том же усилии нажатия и той же скорости пробивки скалки, получено среднее значение 112,6 дБ¹³.

Почему?

Причина кроется в заземлении пики и в резиновой втулке (поз. 22, рис. 1). На стенде ТЭМЗ заземленная пика не может наносить обратные удары по корпусу молотка. При усилии нажатия 200 Н в момент удара корпус находится над буртом, а пика через резиновую втулку, тянет его обратно, растягивая концевую пружину. Таким образом, концевая пружина работала как виброзащитное устройство, обеспечивая уровень вибрации, близкий к санитарной норме (112 дБ по виброскорости).

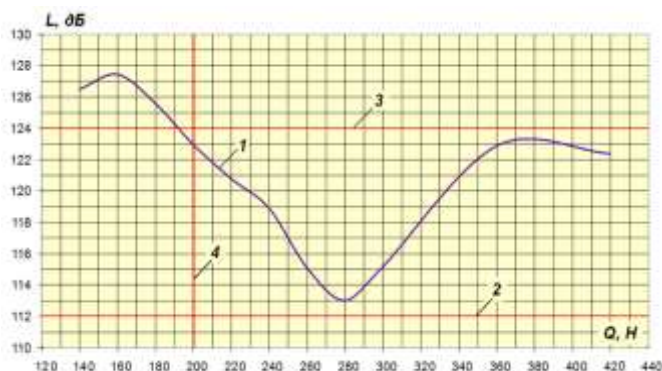


Рис. 9. Вибросиловая характеристика молотка МО-2А ТЭМЗ

1 – скорректированный уровень виброскорости рукоятки L , дБ; 2, 3 – нормы вибрации по СН-96: безопасный и недопустимый; 4 – максимально допустимое усилие нажатия при работе с ручной машиной по ГОСТ 17770; Q – усилие нажатия.

В лаборатории «Безопасность горных машин» молоток испытывался без резиновой втулки¹⁴ и муфты; измерительная пика имела свободу отскока от испытательной скалки и наносила обратные удары по корпусу: совместно с пневматическими силами отдачи они стали причиной высокой вибрации рукоятки¹⁵.

Так «вибробезопасный» молоток «превратился» в виброопасную ручную машину.

Обратимся к интерпретации результатов испытаний.

Вибрационную характеристику молотка по ГОСТ Р ИСО 28927-10 устанавливают усреднением по каждой точке измерений (двум точкам для машины с двумя рукоятками и

¹¹ ГОСТ 16519: Даже небольшая разница в размерах, форме, материале, степени износа, уравновешенности и т.д. вставного инструмента может существенно изменить уровень производимой машиной вибрации.

¹² Молоток МО-2А идентичен молотку МО-2Б: завод изменил название модели.

¹³ Протокол № 03 периодических испытаний молотков МО-2А по ТУ ТЭМЗ от 30.06.2003 г.

¹⁴ Срок службы резиновой втулки не превышает 2...3 рабочие смены. Втулка вдавливается буртом пики в зазоры между витками концевой пружины, растягивая ее, и виброзащитная конструкция перестает работать.

¹⁵ Высокая вибрация при усилиях более 320 Н тоже вызвана обратными ударами пики.

одной точке для одноручной машины), сериям измерений и по операторам и машинам (если испытывается партия машин из 3-х более шт.).

В качестве заявляемого значения вибрационной характеристики молотка выбирают максимальное из значений по всем точкам измерений и добавляют неопределенность испытаний по ГОСТ 12.1.012, получая таким образом верхний (75 %-ый) квартиль распределения уровней скорректированного виброускорения машины.

Такое решение предоставляет потребителю информацию о возможной максимальной вибрации отбойного молотка. И это правильно. Однако, для получения достоверного значения верхнего квартиля необходим значительный объем испытаний, поскольку методика ГОСТ Р ИСО 28927-10 предоставляет оператору значительную свободу в приемах работы, позы, приложении усилия нажатия и, соответственно, приводит к значительному разбросу результатов измерений¹⁶.

Ничего подобного в ГОСТ Р 55162 нет: полученные значения вибрации в нем просто усредняются по сериям испытаний и машинам. Такой подход связан со значительно большей стабильностью результатов испытаний на стенде.

По данным сличительных испытаний между лабораториями ИГД (ООО «УДАРМАШ») и ТЭМЗ различие вибрационных характеристик молотков на стендах типа СОРП не превышает 2 дБ (по уровню скорректированной виброускорения).

Отметим также, что достоинством метода испытаний по ГОСТ Р 55162 является одновременная регистрация и вибрационных и энергетических параметров молотка, что увеличивает надежность экспериментальных данных.

Сопоставление результатов испытаний по ГОСТ Р 55162 и ГОСТ Р ИСО 28927-10, насколько нам известно, не проводилось.

А как соотносятся результаты испытаний с вибрационными характеристиками молотков в реальных условиях эксплуатации?

В 2020 году Британская организация «Health and Safety Executive» (Исполнительный директор по охране труда) опубликовала отчет «Эффективность британского стандарта BS EN ISO 28927-10:2011 в определении виброактивности ударных сверл и отбойных молотков» (RR 1164 Research Report “The effectiveness of British Standard BS EN ISO 28927-10:2011 concerning the vibration emission of percussive drills, hammers and breakers”) [19], главный вывод которого гласит: нагрузочное устройство – имитатор объекта обработки DYNALOAD, применяемое для ручных машин ударного действия, не позволяет получить вибрационные характеристики, соответствующие верхнему квартилю вибрации в условиях эксплуатации¹⁷.

¹⁶ В стандарте нет сведений о воспроизводимости вибрационных характеристик молотков по нормируемому методу испытаний.

¹⁷ Мы будем цитировать английский вариант документов во избежание неточностей перевода.

Таблица 3

Сравнение вибрационных характеристик молотков в натуральных условиях с результатами испытаний по Британскому стандарту BS EN ISO 28927-10

Тип молотка	Рабочая операция	Среднее значение, м/с ²	Стандартное отклонение, м/с ²	Верхний квантиль, м/с ²
Работа молотка в натуральных условиях				
Е	Разрушение бетона марки 40, инструмент пика	14,3	2,7	16,6
Е	Разрушение бетона марки 40, инструмент зубило	13,4	1,7	14,4
Е	Разрушение бетонного пола, инструмент пика	14,6	1,3	14,8
Е	Разборка кирпичной стены	15,5	4,9	19,1
Ф	Разрушение бетонного пола, инструмент пика – непрерывная работа	22,9	3,3	25,1
Ф	Разрушение бетонного пола, инструмент пика – работа с остановками	12,6	2,5	14,3
Ф	Разрушение бетона марки 40, инструмент пика	16,7	5,6	22,6
Вибрационная характеристика по BS EN ISO 28927-10:2011				
Е	DYNALOAD	2,4	1,9	4,3
Ф	DYNALOAD	9,0	1,4	10,4

For the majority of tool types, the vibration emission test code in BS EN ISO 28927-10:2011 does not produce vibration magnitudes that represent the in-use vibration; the only exception being some rock drills. Any risk assessment made based on emission values generated by this test code would be likely to result in a serious under-estimate of the in-use vibration risk.

Use of the dynamic loading device known as the dynaload is not a suitable technique for generating emission values for percussive tools that reflect the upper quartile of in-use vibration magnitudes, as required by BS EN ISO 20643:2008+A1:2012.

В Таблице 3 представлены результаты измерений вибрации молотков типа Е и F, показанных на рис. 10¹⁸. Вибрация молотка типа Е (масса 6,3 кг) при разборке кирпичной стены и при работе по бетону оказалась в среднем 3...4 раза больше, чем на приемнике удара DYNALOAD, а вибрация более тяжелого молотка F (10,5 кг) при работе по бетону – почти в 2 раза больше.

Британский научный отчет показывает, что **метод испытаний по ГОСТ Р ИСО 28927-10 дает низкую оценку вибрации и не позволяет прогнозировать вибрационную характеристику отбойных молотков в реальных условиях эксплуатации.**

¹⁸ К сожалению, модели молотков в отчете не указаны; по цвету можно предположить – молотки AtlasCorso.



Рис. 10. Фотографии работы молотков

а) по кирпичной кладке; б) по бетону;
давление сжатого воздуха 6,2...6,3 бар (0,6 МПа);
внизу показаны значения полного виброускорения,
соответствующие верхнему 75 %- му квантилю вибрации
при выполнении данной рабочей операции

К сожалению, аналогичного исследования для ГОСТ Р 55162, стенда СОРП и отечественных молотков не проводилось.

Тем не менее, по нашему мнению, **стенд СОРП обладает рядом преимуществ по сравнению с устройством DYNALOAD.**

И вот почему.

В отбойных молотках выявлено 20 источников продольной и поперечной вибрации [1-2, 20-21]. Доминирует в молотках продольная вибрация (вдоль оси движения ударника). В работе [11] показано, что существенными источниками продольной вибрации, каждый из которых может значительно превышать санитарные нормы, являются: пневматические силы от изменения давления сжатого воздуха в рабочих камерах молотка, обратные удары рабочего инструмента по корпусу молотка, соударения корпуса с инструментом, обусловленные движением корпуса («посадки» на бурт инструмента) и скачкообразное внедрение инструмента в разрушаемый материал.

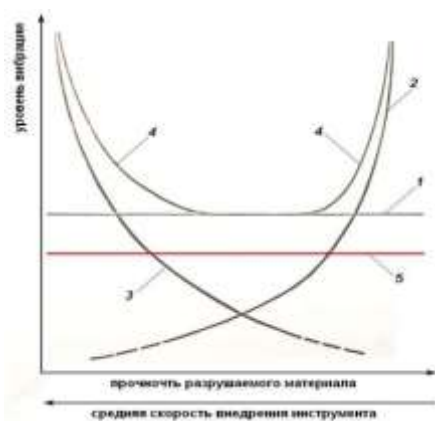


Рис. 11. Взаимодействие существенных источников вибрации

- 1 – вибрация от пневматических сил;
- 2 – вибрация от обратных ударов инструмента;
- 3 – вибрация от скачкообразного внедрения инструмента;
- 4 – суммарная вибрация;
- 5 – санитарные нормы

На рис. 11 представлена диаграмма инж. В.А. Кашаева, демонстрирующая качественное взаимодействие существенных источников вибрации в зависимости от прочности разрушаемого материала (средней скорости внедрения инструмента).

Для прочных материалов – бетон, скальные горные породы – характерны малая скорость внедрения инструмента, значительный отскок пика от забоя и высокая интенсивность обратных ударов инструмента по корпусу молотка.

Для материалов малой прочности – уголь, глина, асфальт, мерзлая земля – характерно значительное внедрение инструмента за удар (до 5 мм) [7, 11] и малая интенсивность обратных ударов пика.

Вибрация от пневматических сил (в первом приближении) не зависит от прочности разрушаемого материала.

Сопоставление рис. 2, 3 и 11 показывает, что имитатор объекта обработки (приемный узел энергии удара) стенда СОРП позволяет качественно воспроизводить работу отбойного молотка по материалам различной прочности.

Приемный узел стенда СОРП – гидравлический фрикцион, в котором при ударе происходит перемещение испытательной скалки с опорой на нее измерительной пики – спроектирован, исходя из глубокого понимания волновой теории удара в стержневых системах и процессов ударного разрушения [3, 6, 15, 22].

Физическими факторами, которые количественно характеризуют влияние объекта обработки на вибрацию молотка, являются: глубина внедрения инструмента за удар Δ , импульсы обратных ударов J , передаваемых пикой корпусу молотка, и коэффициент отскока корпуса от (невозбужденного) инструмента λ_c .

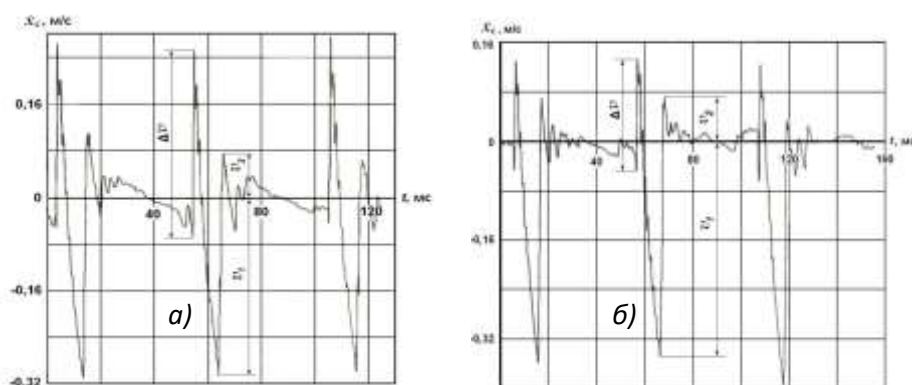


Рис. 12. Экспериментальные диаграммы виброскорости корпуса \dot{x}_c молотка МО-2М на стенде СОРП при различной глубине внедрения инструмента:

a) $\Delta = 0,7$ мм ($v_{cp} = 1,4$ см/с); *б)* $\Delta = 1,5$ мм ($v_{cp} = 2,9$ см/с); Δv – скачок скорости при обратном ударе инструмента; v_1 и v_2 – скорости «посадки» и отскока корпуса молотка; t – время

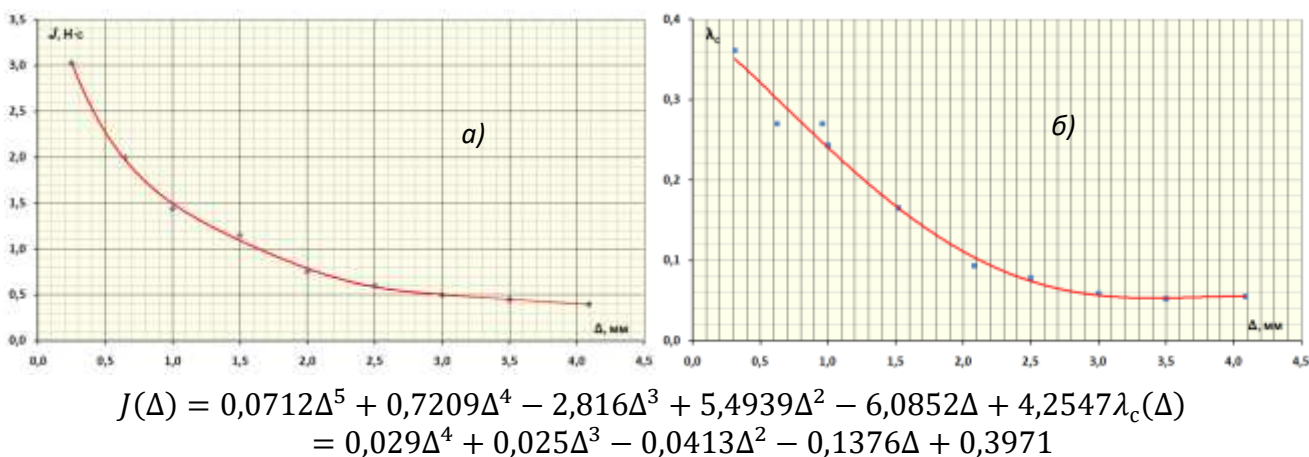


Рис. 13. Зависимость импульса обратного удара J (*a*) и коэффициента отскока ствола λ_c (*б*) от глубины внедрения инструмента за удар Δ

В [11] получены диаграммы виброскорости ствола молотка МО-2М на стенде СОРП при различной глубине внедрения инструмента за удар в диапазоне $v_{cp} = 0,25 \dots 8,0$ см/с (давление сжатого воздуха 0,4 МПа, усилие нажатия 250 Н). На рис. 12 представлены две из них: рис. 12, а условно характеризует работу молотка по кирпичной кладке, а рис. 12, б – по углю. По диаграммам виброскорости построены зависимости импульса обратного удара J и коэффициента отскока λ_c от шага пробивки скалки за удар Δ , показанные на рис. 13.

Аналогичные зависимости должны быть получены в натуральных условиях для выбранных типовых объектов обработки: уголь, асфальт, бетон и др., – а также на стенде для всех типоразмеров молотков при давлении сжатого воздуха 0,5...0,7 МПа (диапазон реальных давлений при эксплуатации молотков).

Сопоставляя эти данные, необходимо выбрать параметры источников вибрации, которые соответствуют объектам обработки, и предложить способы их имитации на испытательном стенде.

Уважаемые господа ученые, инженеры и производственники!

Мы имеем уникальное оборудование для вибрационных испытаний отбойных молотков, но как мы используем его? С нас требовали и требуют, чтобы молотки соответствовали санитарным нормам, и в погоне за этим «соответствием» были найдены условия испытаний, в которых вибрация молотка минимальна: заземленная в гидротисках пика и средняя скорость внедрения инструмента $1,8 \pm 0,2$ см/с.

Значит, задача решена?

Нет, предстоит большая научная работа, поскольку обеспечение вибрационной безопасности состоит в другом: **предоставить потребителю информацию о возможных максимальных уровнях вибрации при работе с отбойными молотками в типовых условиях эксплуатации.**

Отбойный молоток является универсальным инструментом по своему назначению. Значит, необходимо предоставить данные о его вибрации и при работе по скальным горным породам, и по бетону, кирпичной кладке, асфальту, и по мерзлому грунту, и по углю.

Нужно дать соответствие между вибрационными характеристиками машины, полученными в стендовых и натуральных условиях.¹⁹ Только получив такую информацию, мы сможем понять недостатки отечественных молотков и создать машины действительно вибробезопасные (виброзащищенные).

Приведенный анализ показал, что **на сегодняшний день существует противоречие между методами испытаний пневматических отбойных молотков, принятыми в СССР (примером является ГОСТ Р 55162), и международными стандартами на испытания и оценку виброактивности молотков (ГОСТ Р ИСО 28927-10, ГОСТ СЕН/TR 15350, Европейская директива по безопасности 2002/44/ЕС).**

Это противоречие имеет глубокую методологическую основу и усугубляется различием в нормировании локальной вибрации, оценке рисков виброзаболеваний, а также несоответствием ведомственных нормативов.

Вот некоторые из них:

- согласно санитарным нормам и правилам СанПиН 1.2.3685-21 предельно допустимый уровень (ПДУ) виброускорения $2,0$ м/с²; недопустимый уровень вибрации, превышающий это значение в 4 раза и действовавший в предыдущих нормах СН-96, сегодня отменен;

¹⁹ Примером такой связи служит ГОСТ СЕН/TR 15350, где для отбойных молотков используются эмпирический повышающий коэффициент 2. Согласно данным «Health and Safety Executive» этот коэффициент должен быть выше. Но в данных исследованиях не рассматривались отечественные отбойные молотки.

- с 2009 года пневматические отбойные молотки (а также другие ручные машины ударного действия) исключены из Перечня товаров и услуг, подлежащих обязательной сертификации;
- требования к вибрационным характеристикам отбойных молотков – ГОСТ 17770 в настоящее время не являются обязательными: в РФ можно производить и ввозить из-за рубежа молотки с любыми, сколь угодно высокими вибрационными характеристиками, например: сегодня импортируются молотки МО-2К (КНР), скорректированный уровень виброскорости которых во всем диапазоне усилий нажатия превышает 130 дБ (+18 дБ по сравнению с нормой), и молотки TEX 09PS, TEX 10PS шведской фирмы Atlas Copco, виброускорение которых 16...22 м/с² (в 8...11 раз выше нормы) [23]²⁰;
- ГОСТ СЕН/TR 15350 нормирует порог предупреждения вибрационного заболевания 2,5 м/с² и предельно допустимое значение 5,0 м/с², а в СанПиН 1.2.3685-21 предельно допустимый уровень виброускорения 2,0 м/с², и это безопасное значение, а в данном стандарте – значение, когда работа с машиной запрещена;
- в методике специальной оценки условий труда [24], устанавливающей классы условий труда, представленные в Таблице 4, также отличаются и порог, с которого начинаются вредные условия труда, и порог опасности, когда работа запрещена. Методика фактически использует отмененные санитарные нормы локальной вибрации СН-96.

Таблица 4

Классы условий труда локальной вибрации на рабочем месте

Название фактора, показатель, единица измерения	Класс условий труда					
	Допустимый	Вредный				Опасный
		2	3.1	3.2	3.3	
Превышение ПДУ до ...дБ/раз (включительно):						
Вибрация локальная, эквивалентный скорректированный уровень (значение) виброскорости, виброускорения (дБ/раз)	ПДУ 2,0 м/с ²	3/1,4	6/2	9/2,8	12/4	12/4

Но это вопросы к Правительству РФ, Росстандарту, Минздраву и Минтруду России, они выходят за рамки данной статьи.

А каковы заявленные вибрационные характеристики отечественных молотков?

В Паспортах на модели МОП-2, МОП-3, МОП-4 ООО «ТоМаш» – наиболее массового производителя отбойных молотков в РФ читаем:

2.2. Вибрационные характеристики молотков соответствуют требованиям ГОСТ 17770-86 и ГОСТ 16519-78 при коэффициенте внутрисменного использования 1,0...

Данная информация означает, что молотки удовлетворяют требованиям действующих санитарных норм, с ними можно работать 8 часов в смену в течение всего стажа работы и не подвергаться риску получить вибрационное заболевание.

Значит, эти молотки **абсолютно вибробезопасны**? И автор данной статьи «ломится в открытую дверь»: **нет никакого вопроса с вибрацией молотков**? Ведь их вибрационные характеристики соответствуют требованиям Технического регламента Таможенного Союза

²⁰ Надо отдать должное фирме AtlasCopco: она не только честно указывает высокую вибрацию своей продукции, но и предлагает молотки серии PE с виброзащитой, вибрация которых в 4...5 раз ниже.

ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» и подтверждены Сертификатом Соответствия Евразийского Экономического Союза № ЕАЭС RU С-RU.АД07.В02365/20 (серия RU№ 0225061), выданным производителю Органом по сертификации Обществом с ограниченной ответственностью «Центр Сертификации «ВЕЛЕС».

Во-первых, автор статьи выражает свое частное мнение: на основании вышеизложенного он имеет право сомневаться в корректности указанных данных: молотки серии МОП мощностью порядка 1000 Вт, конструкция которых не содержит виброзащитных устройств, не могут быть вибробезопасны.

Во-вторых, автор обращался в указанный Орган по сертификации с просьбой провести испытания отбойных молотков с определением вибрационных характеристик по действующим стандартам: ГОСТ Р ИСО 28927-10 и/или ГОСТ Р 55162, и получил ответ «нет оборудования».

В-третьих, насколько автору известно, до настоящего времени испытания отечественных молотков по ГОСТ Р ИСО 28927-10 в РФ не проводились.

Конечно, в целях заявления вибрационных характеристик молотки могли быть испытаны по ГОСТ 12.2.010 в натуральных условиях, но тогда возникают вопросы:

- по какому представительному объекту обработки: уголь, кирпич, асфальт, бетон?
 - при выполнении какой представительной операции: работа вертикально вниз, горизонтально или под углом, при каком давлении сжатого воздуха, с каким усилием нажатия, с каким рабочим инструментом, какова была поза оператора и положение его рук?
- И, наконец, автор считает маловероятным, что при натуральных испытаниях была получена столь низкая вибрация для всех 4-х типоразмеров молотков²¹.

Поэтому автор призывает:

- производителей отбойных молотков – провести испытания по ГОСТ Р ИСО 28927-10 и опубликовать Протоколы испытаний; по их результатам заявить вибрационные характеристики молотков и внести их в техническую документацию (Паспорт, Руководство по эксплуатации) с указанием метода испытаний – испытательного кода по вибрации; это необходимо для сравнения отечественных и импортных молотков, а также для оценки вибрационной экспозиции в натуральных условиях по ГОСТ СЕН/TR 15350: на сегодняшний день этот стандарт – единственный нормативный документ, который позволяет по вибрационной характеристике, заявленной производителем, прогнозировать вибрацию молотка в условиях эксплуатации;

- ученых, инженеров, конструкторов – исследовать работу молотков в натуральных условиях, разрабатывать стенды, имитирующие и эти условия и динамические свойства человека-оператора, исследовать на них и создавать молотки со сниженной вибрацией, доказывая на деле, что наши стенды лучше импортных аналогов воспроизводят реальную работу молотков, а молотки обеспечивают более безопасные условия труда.

Мы начали эту статью с тезиса, что отечественная наука достигла значительных успехов в снижении вибрации машин ударного действия.

Это действительно так. Но нам решительно не хватает данных о вибрации молотков в условиях эксплуатации! Мы «до сих пор стучали по железке»²². Необходимо сделать еще один шаг – перейти к реальным натурным объектам, взяв с собой весь багаж научного знания, собранный за последние 70 лет.

²¹ К сожалению, получить протокол испытаний молотков от ООО «ТоМаш» оказалось невозможным.

²² Тезис принадлежит инж. В.А. Кашаеву

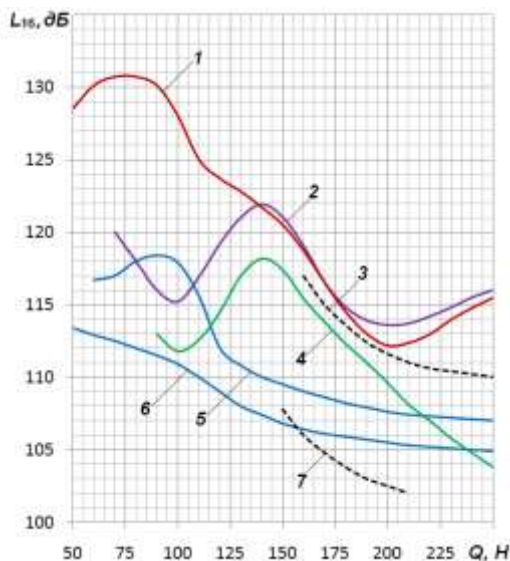


Рис. 14. Эффективность различных виброизоляторов рукоятки отбойного молотка стенд СОРП-3, давление 0,4 МПа, $v = 1,8$ см/с

L_{16} – уровень виброскорости в октаве 16 Гц;

Q – усилие нажатия;

1 – резиновый виброизолятор (МО-2);

2 – пневморезиновый виброизолятор (МО-2М);

3, 7 – пружинные виброизоляторы с коэффициентом жесткости 20,0 кН/м и 5,5 кН/м;

4 – пневмопружинный виброизолятор, коэффициент жесткости 12,5 кН/м;

5, 6 – пневматические виброизоляторы с авторегулированием, объем пневмоцилиндра 50 см³ и 100 см³

Науке сегодня есть что предложить в решении этих задач.

У нас имеется испытательный стенд СОРП, и есть понимание, как его совершенствовать, у нас создана уникальная аппаратура для измерения энергетических параметров молотков «УИПУ-4М», которая по стабильности и точности превосходит мировые аналоги [5], у нас есть методики испытаний с одновременным получением вибрационных и энергетических параметров молотков.

У нас имеются наработки.

На рис. 3 представлена вибрационная характеристика молотка МОД-2 [9, 11], созданного для условий угольных шахт; его вибрация на 8...9 дБ (в 2,5 раза) ниже, чем у серийных молотков.

На рис. 14 представлены возможности различных систем виброзащиты молотков, которые позволяют двигаться в направлении дальнейшего снижения вибрации.

Надеюсь, что у нас есть и желание, и силы для такой работы!

Уважаемые коллеги и читатели!

Данная статья носит дискуссионный характер. Это размышление и критический взгляд на научную деятельность по пневматическим отбойным молоткам.

Автору менее всего хотелось, чтобы статья воспринималась как желание очернить достижения отечественных ученых, к которым он и сам принадлежит.

И главное – хотелось бы получить отклик от коллег, людей и организаций, заинтересованных в создании вибробезопасных условий работы с отбойными молотками и шире – с ручными машинами ударного действия.

Поэтому автор статьи призывает всех заинтересованных специалистов включиться в эту работу.

Список литературы

1. Соколинский В.Б. Машины ударного разрушения (Основы комплексного проектирования). – М.: Машиностроение, 1982. – 184 с.

2. Суднишников В.Б, Тупицын Н.Н., Есин К.К. Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия. - Новосибирск: Сиб. отд. А.Н.СССР, 1985. – 136 с.
3. Александров Е.В., Соколинский В.Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. - М.: Наука, 1969. – 201 с.
4. В.Б. Соколинский. 50 лет исследования и разработки ударных машин в ИГД им.А.А. Скочинского // Техника и технология разработки угольных месторождений / Науч. сообщ. ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского, вып. 322. – М.: 2002. – С. 171-181
5. 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: 06.12.2016).
6. Ванаев В.С., Готлиб Я.Г., Кашаев В.А., Ямпольский Д.З. Оценка вибрационной безопасности отбойных молотков посредством стендовых испытаний // Безопасность жизнедеятельности. - М.: Изд-во «Новые технологии», «Безопасность жизнедеятельности», 2016. - № 4 (184). – С 3-17, Библиогр.: с. 16-17 (18 назв.).
7. Ванаев В.С., Готлиб Я.Г., Ямпольский Д.З. О применении испытательных стендов для контроля шума и вибрации отбойных молотков // Вестник научно-технического развития. - 2020. - № 2 (150). - С 33-45. <http://www.vntr.ru/vols/2020-02/vntr2020-150-4.pdf> (дата обращения: 09.02.2020 г.).
8. «Проведение исследований и разработка научно-обоснованных методических рекомендаций по проведению испытаний пневматических отбойных молотков». Отчет ФГУП ННЦ ГП - ИГД им. А.А. Скочинского, 2003 г.
9. Анисимов В.Г., Кашаев В.А., Ямпольский Д.З. Исследование вибрационных характеристик отбойного молотка при разрушении угля и пород // Надежность и оптимизация параметров горных машин: Науч. сообщ./ Ин-т горного дела им.А.А.Скочинского. – М.: 1987. – С. 119-126
10. Ямпольский Д.З. Моделирование вибрации отбойного молотка и выбор рациональных параметров виброзащиты: Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / АН СССР, Институт горного дела им. А.А. Скочинского. – Москва: 1991. – 278 с.: ил.
11. Л.И. Барон. Коэффициенты крепости горных пород. - М., Наука, 1972. – 176 с.
12. Diekman D. Ein schwingungsmechanisches Modell für das schwingungserregte Hand–Arm–System des Menschen / V.D.I. – Nr. 1, 1959.
13. Методика аттестации средств контроля вибрации ручных машин. Рекомендации Р 50-609-32-87. ВЦНИИОТ. - М.: 1988. – 44 с.
14. Аварийность и травматизм на предприятиях угольной промышленности в 2010-2015 годах. // А.Р. Литвинов, К. С. Коликов, О. Г. Ишхнели / Научно-технический журнал ВЕСТНИК. – 2017. - № 2. – С. 6-17.
15. Исследование взаимодействия инструмента и горной породы при ударном разрушении. Краткий научный отчет. / Е.В. Александров, В.Б. Соколинский и др. - М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1967. – 61 с.
16. DYNALOAD: Design, construction, use and maintenance. PNEUROP, version 1.2, October, 2005. – P. 25. (www.pneurop.eu/uploads/documents/pdf/DYNALOAD_2005.pdf13).
17. В.Ф. Горбунов, В.И. Бабуров, Г.С. Жартовский и др. Ручные пневматические молотки. - М.: Машиностроение, 1967. – 184 с.
18. Ямпольский Д.З. Численное моделирование продольного удара. Сравнение с экспериментом. // Вестник научно-технического развития. - 2019. - № 9 (145). - С. 30–51. <http://www.vntr.ru/vols/2019-09/vntr2019-145-4.pdf> (дата обращения: 04.09.2019).

19. Sue Hewitt, Graeme Hunwin, Mick Mole. The effectiveness of British Standard BS EN ISO 28927-10:2011 concerning the vibration emission of percussive drills, hammers and breakers. Research Report RR 1166. / Health and Safety Executive, 2020. – P. 125.
20. В.И. Бабуров, В.Ф. Горбунов, А.В. Триханов. Причины вибрации ручных пневматических молотков и способы борьбы с ней. / Известия Томского политехнического института. – 1966. - том 146. – С. 21-27.
21. R. Levandowski. O Potrzebie zmian konstrukcyjnych Narzedzi Pneumatycznych. Ochrona Pracy, 4, 1961.
22. В.Б. Соколинский. Методы аналитического расчета параметров неупругого удара в волновых системах. / Научный доклад. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1970. – 60 с.
23. В.А. Кашаев, Д.З. Ямпольский. Молотки отбойные пневматические. Анализ состояния. Стандарты и методы испытаний. / Пояснительная записка к ГОСТ Р 55162. - М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 2011. – 21 с.
24. Методика проведения специальной оценки условий труда, утв. Приказом Минтруда России № 33н от 24 января 2014 г.

Дата поступления: 11 декабря 2022 г.