

РЕЗУЛЬТАТЫ СОЗДАНИЯ И ГИГИЕНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ МОЛОТКОВ С ВИБРОИЗОЛЯЦИЕЙ

В. Ф. ГОРБУНОВ, З. М. БУТКОВСКАЯ, В. И. БАБУРОВ, Ю. А. ОПАРИН,
Е. И. ВОЛОДИНА, А. Н. ЩИПУНОВ, С. С. КАРПУШИН, Ю. С. ШЕВЧЕНКО

(Представлена кафедрой горных машин, рудничного транспорта и горной механики)

Исследованиями рабочего процесса и вибрации пневматических молотков установлены основные направления ограничения вредного влияния их вибрации на работающего.

Среди известных способов гашения и изоляции вибрации видное место занимают:

- а) изменение рабочего процесса молотка (характера воздействия давления сжатого воздуха на стенки цилиндра);
- б) введение виброизолирующих устройств в конструкцию молотка;
- в) применение защитных виброизолирующих муфт для инструмента, защитных рукавиц и т. п.

В Томском политехническом институте (ТПИ) развивается второе из указанных направлений. В содружестве и при участии работников электромеханического завода (ТЭЗ) разработаны и исследованы несколько образцов пневматических отбойных и рубильных молотков с виброизолирующими устройствами. В данной статье освещаются последние результаты сравнительных технических и медико-биологических исследований пневматических рубильных молотков МР-6 (серийный ТЭЗ) и МРВ-16 (опытный ТПИ).

На основании анализа конструкций молотков с упругими рукоятками и отдельных их узлов нами разработана принципиальная схема молотка (рис. 1) с виброизолирующими устройствами, при расчете которых принималось:

- а) энергия обратного удара инструмента поглощается задним амортизатором буксы и на корпус молотка не передается;
- б) удары ударника по перемычке воспринимаются передним амортизатором буксы и также не передаются на корпус молотка;
- в) виброизолирующим элементом упругой рукоятки является коническая пружина, которая рассчитывается на действие силы от сжатого воздуха в задней полости молотка

$$Q = p \cdot S, \text{ кг,}$$

где p — рабочее давление сжатого воздуха, *ати*; S — сечение цилиндра ствола, *см*².

Рабочая деформация пружины составляет 30 мм. Диаметр наибольшего рабочего витка определяется конструктивно.

При расчете переднего и заднего амортизаторов буксы определялась осадка. Величина осадки не должна нарушать нормальную работу молотка. Определяется она для резиновых амортизаторов по формуле

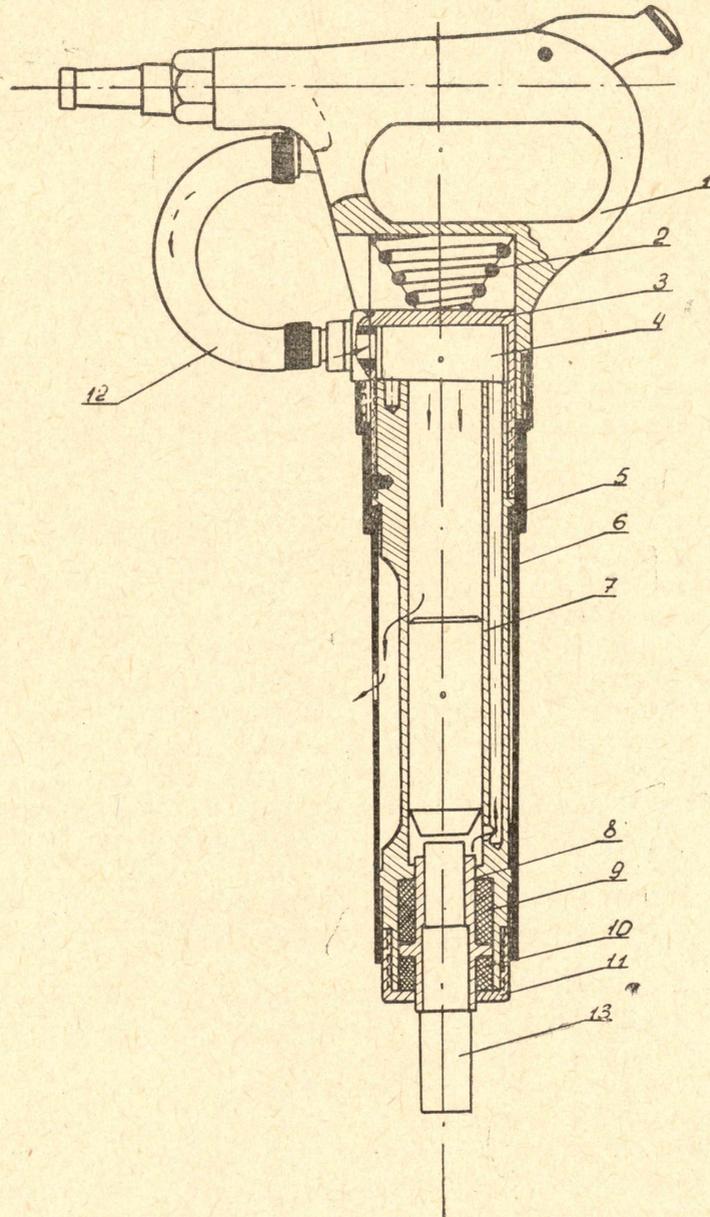


Рис. 1. Конструкция пневматического молотка МРВ-16.
 1 — рукоятка, 2 — конусная пружина, 3 — промежуточное звено, 4 — воздухораспределительное устройство, 5 — резиновый амортизатор, 6 — «ложный» ствол, 7 — ствол, 8 — букса, 9 — задний амортизатор буксы, 10 — передний амортизатор буксы, 11 — гайка, 12 — соединительный шланг, 13 — инструмент

$$\lambda = \frac{F \cdot H_1}{S_1 \cdot E_{\text{дин}}}, \text{ см,}$$

где F — сила, действующая на амортизатор, кг;

$H_1 = H - \frac{A}{8}$ — рабочая высота амортизатора, см;

H_1 — полная высота амортизатора, см;
 A — поперечный размер амортизатора, см;
 S_1 — площадь поперечного сечения амортизатора, см²;
 $E_{\text{дин}}$ — модуль упругости резины на сжатие при динамической нагрузке, кг/см².

Величина силы, действующей на задний амортизатор, была определена экспериментально и составила 150—200 кг.

Величина силы, действующей на передний амортизатор, определялась по формуле

$$F = \frac{G \cdot V}{q \cdot t}, \text{ кг,}$$

где G — вес ударника, кг;

V — скорость ударника в момент удара, м/сек;

q — ускорение свободного падения, м/сек²;

t — время контакта ударника с буксой при ударе, сек.

Особенностями данной принципиальной схемы молотков являются:

- а) использование специальной виброгасящей буксы;
- б) использование конусной пружины, устанавливаемой в качестве упругого элемента между рукояткой и стволом;
- в) подвод сжатого воздуха от рукоятки до воздухораспределительного устройства осуществляется по гибкому шлангу;
- г) наличие кожуха или «ложного ствола».

Конструкция виброгасящей буксы предусматривает не только снижение вибрации корпуса от сил соударения с инструментом, но и предохранение ствола от разрушения под действием ударов ударника по перемычке. Посредине буксы имеет кольцевой выступ, который опирается на задний и передний амортизаторы (резиновые втулки), помещающиеся в кольцевой полости в передней части ствола. Центрирование буксы производится по кольцевому выступу и цилиндрической части, обращенной к рукоятке. Тем самым предупреждается перекося буксы относительно продольной оси машины.

Внутренняя поверхность буксы, соприкасающаяся с хвостовиком рабочего инструмента, выполняется любой формы в зависимости от специфики работ.

Предложенная виброгасящая букса имеет два недостатка:

1) может поворачиваться относительно своей оси, что при выполнении некоторых работ весьма нежелательно;

2) не гасит поперечные вибрации молотка.

Однако несмотря на отмеченные недостатки, мы считаем, что положительные качества буксы позволяют рекомендовать ее к применению.

Витки большего диаметра конусной пружины рукоятки опираются на дно в полости рукоятки, а меньшего — в промежуточное звено. Таким образом, пружина не препятствует скольжению рукоятки по промежуточному звену, служащему для закрепления воздухораспределительного устройства на стволе. Стопорение промежуточного звена производится так же, как и рукоятки, у молотков типа МР и КЕ.

Гибкий шланг соединяет воздухопроводной канал у впускного клапана с предклапанной камерой.

«Ложный» ствол в передней части скользит по опорному кольцу, одетому на ствол, а в задней части крепится к рукоятке.

Для облегчения молотка ствол его был профрезирован с 2-х сторон, в местах, где нет каналов для подвода воздуха в переднюю полость, и уменьшен по диаметру по сравнению со стволом молотка МР-6. Выхлопные отверстия просверлены по радиусу ствола.

Указанные изменения позволили изготовить молоток с виброизолирующими устройствами весом 5,7 кг. Вес серийного молотка МР-6 равен 6 кг.

Технические исследования молотков МР-6 и МРВ-16 на вибрацию проводились в лабораториях ТПИ и завода «Пневматика» (г. Ленинград). В процессе исследований записывались диаграммы вибросмещения рукояток молотков с помощью электрических датчиков и осциллографа МПО-2. При исследовании молотков в ТПИ режимы рубки стали меняться в широких пределах (давление воздуха от 4 до 6 *ати*, усилие нажатия на рукоятку от 10 до 40 кг), а на заводе «Пневматика» режим работы молотков задавался в соответствии с требованиями действующих санитарных норм (давление воздуха 5 *ати*, усилие нажатия 15 кг) и молотки работали на стенде ЭРД-3*).

Основные результаты испытаний молотков по техническим характеристикам приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что частота и амплитуда вибросмещения молотка МРВ-16 не превышают величины допустимых временными санитар-

Таблица 1

Техническая характеристика пневматических молотков

Показатели	Тип молотков	
	МР-6 (ТЭЗ)	МРВ-16 (ТПИ)
Давление воздуха <i>ати</i>	5	5
Число ударов в мин	1540*)	1620*)
Работа удара, <i>кгм</i>	2,1*)	2,0*)
Расход воздуха, <i>м³/мин</i>	1,05*)	1,0*)
Амплитуда смещения рукоятки, <i>мм</i>	1,42*)	0,23*)
Отношение фактической амплитуды к допустимой . . .	1,29	0,21
Полная длина, <i>мм</i>	320	390
Вес, <i>кг</i>	6,0	5,7

*) По данным завода «Пневматика».

ными нормами (№ 191—55 от 11 августа 1955 г.), тогда как эти характеристики у молотка МР-6 в 1,6-1,9 раза выше санитарных норм.

Нужно отметить, что при сравнении амплитуды вибросмещения с нормами учитывался сложный характер вибрации пневматических молотков и в соответствии с п. 8 «Временных санитарных норм» допустимая амплитуда подсчитывалась из выражения

$$a_d = \frac{a_n}{k},$$

где a_n — допустимая амплитуда вибрации при гармоническом колебании;

k — коэффициент, учитывающий наличие высоких гармоник (обертонов).

*) В испытаниях молотков принимали участие сотрудники завода «Пневматика» и вибрационно-шумовой лаборатории научно-исследовательского института охраны труда ВЦСПС.

Спектральный состав вибрации обоих исследуемых молотков очень сложен (рис. 2), однако величины ускорений во всех областях частот значительно ниже у молотка с виброизоляцией МРВ-16, чем у серийного молотка МР-6.

По осциллограммам вибросмещения рукояток молотков (рис. 3) также видно, что, помимо разницы в величине амплитуды смещения,

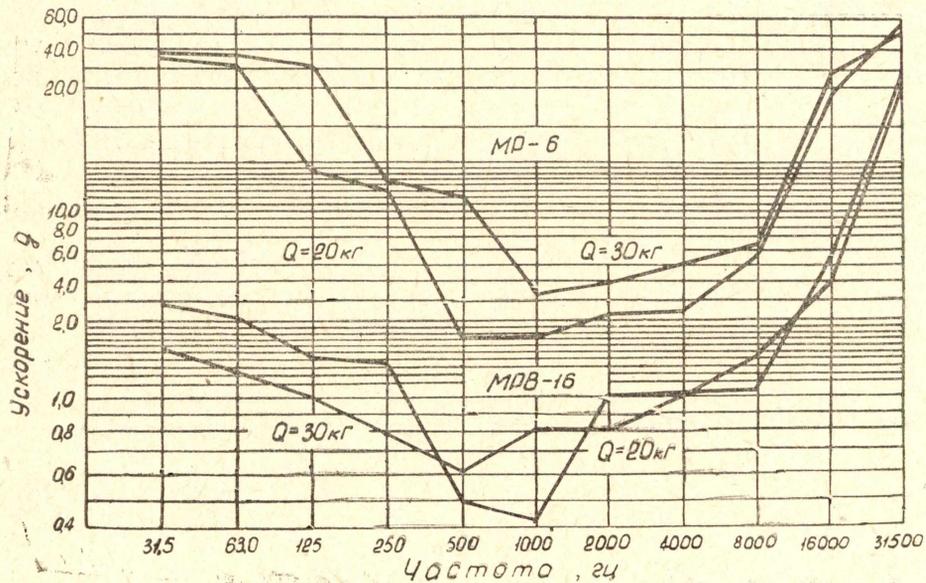


Рис. 2. Спектральный состав вибрации молотков МР-6 и МРВ-16 (по данным Всесоюзного научно-исследовательского института охраны труда ВЦСПС, г. Москва)

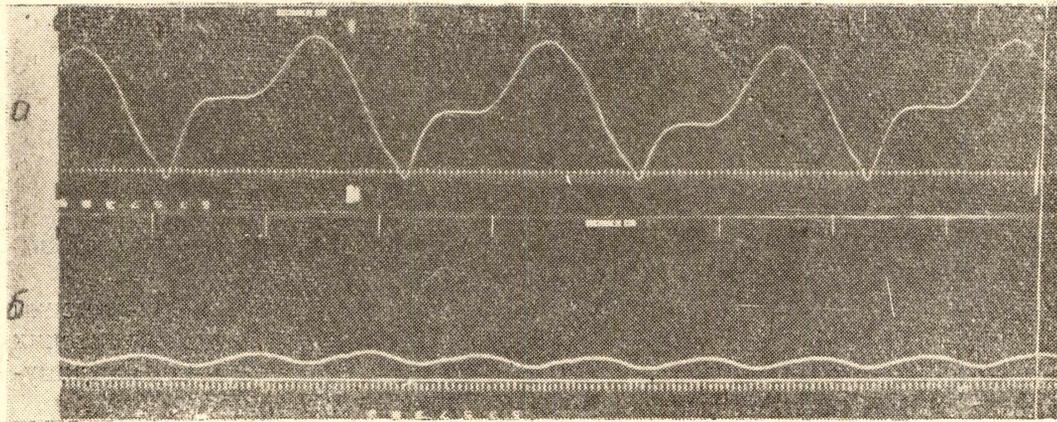


Рис. 3. Осциллограммы колебания рукоятки молотка МР-6 (а) и МРВ-16 (б)

имеется разница в форме кривой. Так, время нарастания максимальной амплитуды смещения у молотка МР-6 значительно меньше половины периода, а у молотка МРВ-16 при меньшей амплитуде оно равно примерно половине периода. Известно, что чем круче нарастание максимальной амплитуды, тем больше выражено действие отдачи на организм.

Физиологические исследования производились на четырех практически здоровых испытуемых. У них исследовалось состояние перифери-

ческого кровообращения, нервно-мышечного аппарата, вибрационной чувствительности. Для суждения об изменениях в этих системах определялось время появления разлитой реактивной гиперемии (после анемизации жгутом) на правой и левой кистях рук и груди; тонус мышц группы *tenar* на правой кисти; мышечная сила в кистях и выносливость к 80% максимальному усилию; величина биопотенциалов на правой кисти (мышцы группы *tenar*); вибрационная чувствительность на указательных пальцах обеих рук и частота пульса.

Данные, полученные у всех исследуемых, суммировались и статистически обрабатывались с получением *t* критерия Стьюдента. Различия в показателях считались достоверными, когда квадратичная ошибка не превышала 5%.

Все исследования физиологических функций производились до, после и через 20 мин. по окончании работы с молотком. Экспериментальная работа с молотком производилась в течение пятнадцати минут. Темп работы был несколько более напряженным, чем в производственных условиях: после каждых 30 секунд непрерывной работы с молотком следовал 15-секундный отдых. Таким образом, соотношение работы и отдыха было 2:1, а чистое время экспериментальной работы составляло 10 минут.

Экспериментальная рубка заключалась в снятии стружки со стальной укрепленной болванки весом 50 кг. Давление воздуха в сети при работе было 5 атмосфер. Работа производилась в брезентовых рукавицах. Для защиты от шума во время работы исследуемые работали в шлемофонах ЦНИИОТ-2. Всего произведено два варианта исследований, включавших в себя 70 экспериментов и около 3000 определений различных функциональных показателей.

Если рассмотреть характер сдвигов в организме и сравнить изменения, полученные после работы молотками МРВ-16 и МР-6, обращают на себя внимание следующие особенности.

Достоверных изменений частоты пульса после работы обеими молотками не обнаружено. О характере сдвигов со стороны периферического кровообращения можно судить по изменениям времени появления реактивной гиперемии и температуре кожи. Удлинение времени появления реактивной гиперемии и снижение температуры кожи после работы указывают на сужение или наклонность к спазму периферических сосудов, что характерно для отрицательного воздействия вибрации. После работы с молотком МРВ-16 не отмечалось удлинения времени появления разлитой гиперемии. На левой руке отмечалось ускорение времени после работы и при восстановлении, что, очевидно, связано с расширением сосудов от притока крови к работающей руке и нагреванием руки от нагретого зубила. После работы с молотком МР-6 отмечалось удлинение времени появления реактивной гиперемии на правой руке, восстанавливающееся в течение двадцати минут. На левой руке изменений времени появления реактивной гиперемии не отмечалось. После работы с молотками МРВ-16 и МР-6 отмечалось достоверное увеличение температуры кожи на руках и груди. Через 20 минут температура на груди восстанавливалась, а на руках оставалась повышенной. Однако из сравнения глубины сдвигов видно, что и сразу после работы с молотком МРВ-16 и через 20 минут по ее окончании сдвиги температуры на кистях рук были большими, чем после работы с молотком МР-6. Так, сразу после работы с молотком МРВ-16 температура повышалась на 4,7° на правой и на 5,8° — на левой руке, а через 20 минут на 4,2° — на правой руке и на 4,8° — на левой; после работы с молотком МР-6 температура повыша-

лась на правой руке на $3,2^\circ$, на левой — на $4,0^\circ$, а через 20 минут на правой — $2,2^\circ$, на левой — на $2,7^\circ$.

Разницы температур груди при работе разными молотками не отмечалось

Повышение температуры на правой руке объясняется расширением сосудов и увеличением кровотока в артериолах в результате притока крови к работающей руке, на левой руке кроме этого еще и нагревом зубила. Однако меньшее повышение температуры после работы с молотком без виброгашения, чем с молотком с виброгашением, объясняется, по нашему мнению, тем, что в первом случае имеет место сужение сосудов в результате воздействия вибрации. Это сужение сосудов выявилось при исследовании времени появления реактивной гиперемии.

Исследование биопотенциалов мышц группы «*tenar*» на правой руке показало тенденцию к повышению электрической активности после работы с молотком МР-6 и снижение электрической активности после работы с молотком МРВ-16 (изменение амплитуды биопотенциалов).

Наши предыдущие исследования показали, что повышение электрической активности отмечается обычно при быстром нарастании максимальной величины смещения как реакции на удар. Выше уже указывалось, что быстрое нарастание амплитуды смещения характерно для отдачи молотка МР-6.

Мышечная сила после работы с молотками практически не изменялась. Мышечная выносливость несколько снижалась на левой руке после работы с молотком МРВ-16. Причина этого падения мышечной выносливости после работы с молотком с виброгашением не совсем ясна. Вряд ли ее можно объяснить большей утомляемостью после работы с молотком МРВ-16, так как сдвиги в остальных показателях этого не подтверждают (изменения биоэлектрической активности, мышечной силы, тонуса мышц).

Достоверных изменений мышечного тонуса после работы с молотками не обнаружено.

Изменения вибрационной чувствительности после работы с молотками были направлены в сторону ее снижения. Отмечалось снижение чувствительности к восприятию частот 100 и 50 *гц* (сдвиги лежат в пределах 28—15% исходного уровня). В течение 20 минут эти сдвиги восстанавливались.

Обращает на себя внимание, что снижение вибрационной чувствительности после работы с молотком МРВ-16 отмечалось только на левой руке, а после работы с молотком МР-6 на правой и на левой руках. Это можно объяснить тем, что виброзащита молотка МРВ-16 больше эффективна на рукоятке, чем на зубиле.

По результатам технических и медико-биологических исследований можно заключить следующее:

а. Вибрационная характеристика молотка МРВ-16 соответствует гигиеническим нормам по величине амплитуды смещения, тогда как на молотке МР-6 этого соответствия не отмечено. По времени нарастания максимальной амплитуды смещения форма кривой отдачи пневматического молотка МРВ-16 значительно безопаснее, чем молотка МР-6 (время нарастания соответствует $1/2$ и $1/4$ периода колебания). Величины ускорения каждой отдельной составляющей в спектре отдачи молотка МРВ-16 значительно меньше, чем величина этих составляющих в отдаче молотка МР-6.

б. Физиологическими исследованиями установлено, что экспериментальная работа с молотком МРВ-16 не вызывает существенных сдвигов со стороны исследуемых функций. Работа с молотком МР-6 вызывает

некоторые нежелательные сдвиги со стороны исследуемых функций, наиболее существенными из которых является тенденция к спазму периферических сосудов.

Таким образом, исследование физиолого-гигиенических характеристик пневматических рубильных молотков МР-6 (серийно изготовленный) и МРВ-16 (опытный образец) показало определенные преимущества молотка МРВ-16 перед молотком МР-6.

На основании проведенных исследований можно рекомендовать изготовление серийной партии молотка МРВ-16. Для окончательной физиолого-гигиенической оценки необходимо проведение испытаний серийной партии в производственных условиях.
