

## МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ МОЛОТКОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В. Ф. ГОРБУНОВ, Ю. А. ОПАРИН, В. И. БАБУРОВ

(Представлена научным семинаром кафедры горных машин, рудничного транспорта и горной механики)

В настоящее время заводы-изготовители пневматических молотков контролируют вес молотка, энергию и частоту ударов, расход воздуха и другие показатели. Однако ни при выпуске молотков с завода, ни при эксплуатации их не контролируются вибрационные характеристики. Это связано, во-первых, с недостаточно жестким санитарно-гигиеническим контролем за условиями работы ручными инструментами ударного действия и, во-вторых, с отсутствием простых измерительных устройств и испытательных стендов, пригодных для использования в заводских условиях.

В связи с большим распространением пневматических молотков и возрастающим в последнее время появлением среди рабочих вибрационной болезни проблема контроля и снижения вибрации молотков стала особенно актуальной. Причем считается общепризнанным, что контроль вибрационных характеристик молотков должен проводиться периодически во время их эксплуатации, так как вследствие износа ударного узла, инструмента и воздухораспределительного механизма могут значительно измениться и вибрационные характеристики молотка.

В связи с изложенным возникла необходимость разработки и создания методики и экспериментального стенда для испытания молотков на вибрацию не в исследовательских лабораториях (такие установки имеются), а в заводских условиях. Такая методика должна отвечать, по нашему мнению, следующим основным требованиям:

1. Молотки должны испытываться в условиях, близких к производственным.
2. Измерительные устройства, так же как и субъективные способности испытателя, не должны оказывать влияния на рабочий процесс молотка.
3. Результаты контроля должны быть известны тотчас же, без сложных расчетных работ.
4. Конструкция установки должна позволять испытание молотков одного класса (например ручных) различной конструкции и назначения.

Выбор и обоснование отдельных узлов испытательной установки, а также разработку общих положений методики производим на основании проведенных нами исследований с учетом рекомендаций, имеющих в литературе.

Рассмотрим основные исходные положения, необходимые для выбора и расчета отдельных узлов экспериментальной установки.

### 1. Нажимное устройство, имитирующее действие руки рабочего

При испытании молотков на вибрацию необходимо создавать усилие нажатия на рукоятку, соответствующее реальным производственным условиям. Многочисленными исследованиями техников и гигиенистов установлено, что это усилие для ручных машин изменяется от 7—10 кг до 25—30 кг. Такое усилие возможно создать вручную и на экспериментальной установке, но в этом случае мы не исключим субъективного влияния оператора на результаты испытания. Поэтому необходимо в конструкцию стенда вводить специальное нажимное устройство, создающее вполне определенное как по величине, так и по характеру усилие нажатия на рукоятку молотка.

В технической литературе имеются описания различных экспериментальных стендов, оснащенных нажимными устройствами.

Грузовое нажимное устройство наиболее просто по устройству, обеспечивает постоянное усилие нажатия, но имеет существенные недостатки. Общая масса колеблющихся частей молотка значительно увеличивается, в результате чего измеренная амплитуда колебаний рукоятки молотка значительно меньше фактической. Очевидно, это недопустимо, так как в характеристику машины заносится заведомо неверный показатель по вибрации. Подсоединение груза к рукоятке молотка посредством каната, как это осуществляется в некоторых конструкциях стендов, не лишает грузовое нажимное устройство основного недостатка.

В пружинном нажимном устройстве нажатие на рукоятку молотка осуществляется предварительно поджатой пружиной с коэффициентом жесткости  $C$ . В данном устройстве можно легко обеспечить требуемое по величине усилие нажатия. Изменение усилия происходит в небольших пределах вследствие деформации пружины при колебаниях рукоятки

$$\Delta Q = \Delta l \cdot C, \text{ кг,}$$

где  $\Delta l$  — размах колебаний рукоятки, мм;

$C$  — коэффициент жесткости пружины, кг/мм.

При наличии достаточно податливой пружины, очевидно, колебания усилия нажатия не будут существенно сказываться на режиме работы молотка. С этой точки зрения пригодность такого нажимного устройства не вызывает возражений.

Однако в данном случае наблюдается другая крайность. Присоединенная к рукоятке молотка масса значительно меньше той, которая включается в колебания при нажатии на рукоятку рукой [3].

Значительное распространение в парктике получило пневматическое нажимное устройство. Оно позволяет создавать необходимое усилие нажатия и легко его регулировать в зависимости от типа молотка и режима его работы. Недостатком пневматического нажимного устройства является то, что воздушная подушка не обладает жесткостью, и поэтому характер подачи несколько отличается от реально действующей на рукоятку силы при ручном нажатии.

Исследованиями различных нажимных устройств и анализом механических аналогов руки рабочего [1, 3] выявлено, что наибольшее соответствие реальным условиям обнаруживает пружинно-массовая система. Такая система составляется из комбинации одной или двух масс и пружин.

Наиболее простой, но отвечающей требованиям, предъявленным к нажимному устройству, явилась механическая модель руки человека из двух масс, разделенных пружиной [1]. В таком устройстве груз весом 2 кг неподвижно закреплен на рукоятке молотка, а на пружине с коэффициентом жесткости  $C = 1-1,1 \text{ кг/мм}$  свободно лежит груз весом 18 кг. Исследование такого нажимного устройства показало, что спектр вибро смещения достаточно близко совпадает со спектром вибро смещения при нажатии на молоток рукой человека [1].

В результате сравнения рассмотренных схем нажимных устройств приходим к выводу, что наиболее целесообразно для заводских испытаний молотков на вибрацию принять стенд с пружинно-массовым нажимным устройством по схеме, приведенной в работе [1]. Тем более, что этот стенд разработан с участием санитарно-гигиенических работников и, следовательно, отвечает требованиям с физиолого-гигиенической точки зрения.

## 2. Положение испытываемого молотка

Пневматическими рубильными и клепальными молотками выполняются различные виды работ: обрубка литья, клепка заклепок, удаление плёнов с изделий проката, разделка трещин. При выполнении всех этих видов работ положение молотка по отношению к горизонту меняется от вертикально вниз до вертикально вверх. При этом усилие нажатия, необходимое для работы молотка, меняется. Как видно из формулы

$$F = F_1 \mp G \cdot \sin \alpha, \text{ кг},$$

общее усилие нажатия  $F$  на молоток складывается из усилия  $F_1$ , создаваемого рабочим, и составляющей от веса молотка  $G \cdot \sin \alpha$ . Таким образом, при работе молотка вертикально вниз усилие нажатия, необходимое для работы, например в предельно основном режиме, будет меньше на величину веса молотка. При работе же вертикально вверх рабочему для работы молотка в этом же режиме необходимо создавать усилие нажатия, которое будет больше на величину веса молотка. Следовательно, положение молотка оказывает влияние на величину усилия нажатия, которое необходимо создать для работы его в определенном режиме.

Заводы выпускают сотни тысяч ручных пневматических молотков, которые работают в разных положениях. Заранее предугадать, что тот или иной молоток будет применен для строго определенного вида работ, невозможно. Поэтому необходимо условиться, в каком положении будет испытываться молоток.

В известных конструкциях стендов [1, 2], которые созданы для исследования пневматических молотков в лаборатории, молоток устанавливается вертикально вниз или горизонтально. В горизонтальном положении молоток устанавливать несколько сложнее в связи с необходимостью иметь на стенде специальные направляющие устройства, которые должны к тому же создавать малое сопротивление движению молотка. Однако в связи с тем, что в горизонтальном положении вес молотка исключается из расчета усилия нажатия и не влияет на рабочий процесс самого молотка и инструмента, для подробных исследований ряда типоразмеров молотков целесообразно бывает принимать их горизонтальное положение.

Для быстрого определения характеристик вибрации каждого молотка из большой их партии существенным фактором является скорость установки и снятия молотка на стенде. Контроль веса и усилия нажатия

осуществляется в данном случае лишь один раз для всей партии молотков. В этой связи вертикальное положение молотка более приемлемо, чем горизонтальное.

Поэтому принимаем, что молоток при заводских испытаниях будет устанавливаться в вертикальном положении вставным инструментом вниз.

### 3. Режим работы молотка

Исследованиями установлено, что при работе молотка возможны три режима, определяемые по колебаниям корпуса: плавающий, предельно основной и под действием обратных ударов инструмента [6, 7].

Каждый режим можно охарактеризовать усилием нажатия, которое необходимо создать на рукоятку молотка, и амплитудой колебания.

В плавающем режиме скорость корпуса меняется плавно, амплитуда смещения наименьшая в рабочем диапазоне усилия нажатия. Такой режим благоприятен с гигиенической точки зрения. Усилие нажатия, соответствующее этому режиму, определяется по формуле [6]:

$$R_{\text{н}} = \frac{n}{60} \left[ \sqrt{2A_{\text{у}} \cdot m (K_0 + 1)} + f_{\text{и}} \int_0^{t_{\text{н}}} P_{\text{п}} \cdot dt \right], \text{ кг}, \quad (1)$$

где  $A_{\text{у}}$  — энергия удара,  $\text{кГм}$ ;

$m$  — масса ударника,  $\text{кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ ;

$K_0$  — коэффициент отскока ударника;

$f_{\text{и}}$  — площадь поперечного сечения хвостовика рабочего инструмента,  $\text{см}^2$ ;

$P_{\text{п}}$  — переменное давление воздуха в передней полости,  $\text{кг}/\text{см}^2$ ;

$t_{\text{н}}$  — время действия давления  $P_{\text{п}}$ ,  $\text{сек}$ .

В формулу (1) входят величины: коэффициент отскока ударника  $K_0$  и переменное давление  $P_{\text{п}}$ .

Значение  $K_0$  зависит от состояния обрабатываемой поверхности, материала ее, формы и материала ударяющихся поверхностей и т. д. [18]. Величина отскока ударника от инструмента определяет характер изменения давления в передней полости.

Таким образом, чтобы молоток работал в плавающем режиме, необходимо выдерживать характерное для него усилие нажатия, а оно зависит от многих переменных факторов и практически трудно достижимо.

Колебания молотка в предельно основном режиме характеризуются резкой посадкой корпуса на буртик инструмента. Амплитуда смещения в этом режиме наибольшая. Усилие нажатия определяется по формуле

$$R_{\text{н}} = \frac{n}{60} \left[ \sqrt{2A_{\text{у}} \cdot m (K_0 + 1)} + f_{\text{и}} \int_0^{t_{\text{п}}} P_{\text{п}} \cdot dt + m_{\text{к}} \cdot V_{\text{п}} (K_{\text{к}} + 1) \right], \text{ кг}, \quad (2)$$

где  $m_{\text{к}}$  — масса корпуса,  $\text{кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ ;

$V_{\text{п}}$  — скорость посадки корпуса на буртик,  $\text{м}/\text{сек}$ ;

$K_{\text{к}}$  — коэффициент отскока корпуса.

Это выражение представляет собой формулу (1), к которой добавлен член  $\frac{n}{60} m_{\text{к}} V_{\text{п}} (K_{\text{к}} + 1)$ , в котором скорость посадки  $V_{\text{п}}$  кор-

пуга и коэффициент отскока корпуса  $K_k$ —величины переменные. Но они меньше меняются, так как меньше изменяется состояние их ударяющихся поверхностей, а кроме того масса корпуса больше массы инструмента в несколько раз. Выражение  $\frac{n}{60} m_k \cdot V_n (K_k + 1)$  численно больше остальных двух, поэтому несмотря на значительное колебание их численного значения, общий итог изменяется мало.

В третьем режиме колебания происходят под действием обратных ударов инструмента. Амплитуда смещения в этом режиме мала, а величина усилия нажатия достигает 30—35 кг. Определяется величина усилия нажатия по формуле

$$R_n = \frac{n}{60} \left[ \sqrt{2A_y \cdot m (K_0 + 1) + f_n} \int_0^{t_n} P_n \cdot dt + \int_0^t F_{o.y} \cdot dt \right] + R_k, \text{ кг}, \quad (3)$$

где  $F_{o.y}$  — сила обратных ударов, кг;

$R_k$  — сила контакта между корпусом и буртиком инструмента, кг.

Наибольшее влияние на общий результат формулы имеют силы  $F_{o.y}$  и  $R_k$ , которые по величине больше остальных. Величина указанных сил колеблется мало, поэтому общий результат также мало изменяется.

С физиолого-гигиенической точки зрения наиболее благоприятен плавающий режим колебаний и под действием обратных ударов, так как амплитуда колебаний в них наименьшая. По величине усилия нажатия режим колебаний под действием обратных ударов менее благоприятен, так как усилие нажатия, соответствующее ему, рабочему трудно выдержать длительно.

Предельно основной режим отличается от остальных наибольшей амплитудой смещения и величиной усилия нажатия, наиболее часто встречающейся на производстве, поэтому принимаем, что оценку молотков на стенде следует производить в этом режиме.

#### 4. Рабочая среда и инструмент

Исследованиями установлено, что как среда, так и инструмент оказывают существенное влияние на рабочий процесс молотка [9, 10, 11, 15], так как различные материалы обладают различным модулем упругости  $E$ . При работе одним и тем же инструментом по различным материалам величина отскока ударника от инструмента тем больше, чем больше значение модуля упругости. С изменением отскока ударника изменяется характер рабочего процесса, изменяется вибрация.

Замечено, что с увеличением отскока ударника частота ударов и вибрация молотка увеличивается [8].

Непосредственное воздействие на вибрацию молотка оказывают вес и форма рабочей части зубила.

На практике применяются зубила с разной формой рабочей части и длины [5]. От формы заточки зубила и состояния обрабатываемой поверхности зависит передаваемая зубилом энергия. Установлено, что к. п. д. передачи энергии наибольший, когда одна поверхность сферическая, а другая — плоская [11, 15]. Такое положение наблюдается при клепке и чеканке.

При максимальном к. п. д. передачи энергии от зубила материалу колебания молотка усиливаются под воздействием упругих свойств материала. Поэтому мы получим максимально возможную амплитуду вибросмещения.

Но случаи работы зубилом со сферической рабочей частью редки, поэтому, испытывая в таких условиях молоток, мы получим результаты, в несколько раз превышающие фактические. Испытывать молотки подобным образом нецелесообразно, тем более, что в процессе обрубки металла амплитуда вибросмещения колеблется в сторону снижения.

Большинство рубильных и клепальных молотков, выпускаемых заводами, используется на обрубных работах и очень небольшая часть — на клепальных. Поэтому все молотки целесообразно испытывать как рубильные с соответствующим инструментом. В практике обрубных работ получили наибольшее распространение зубила с клинообразной формой рабочей части, углом заточки  $40^\circ$  длиной 250—300 мм. Поэтому принимаем такой инструмент для испытания молотков.

Так как наиболее часто встречающиеся материалы при обрубке — сталь и чугун — имеют близкие модули упругости  $E$ , то в качестве материала, на котором будут испытываться молотки, принимаем сталь. При необходимости испытания на вибрацию молотков, работающих по цветным металлам, на стенде устанавливается подставка из бронзы.

### 5. Требования к аппаратуре для замера амплитуды смещения

Согласно существующим санитарным нормам [4] оценка виброопасности машин ударного действия производится по величине амплитуды смещения основной частоты вибрации. Допустимая величина амплитуды уменьшается в 2—3 раза при наличии в спектре гармоник с частотой 120—250 гц. Ниже рассматривается аппаратура, предназначенная для измерения амплитуды смещения основной частоты.

В лабораторной и производственной практике имеется ряд приборов, позволяющих измерять амплитуду смещения [12, 13, 14, 17, 19, 20]. Некоторые из них имеют стрелочный указатель, позволяющий следить за показаниями в процессе измерения. Большинство же приборов работает в комплекте с осциллографом, на котором результаты измерения могут фиксироваться на киноплёнке или на экране электронно-лучевой трубки. В приборах последнего типа обработка результатов занимает много времени, кроме того сами приборы сложны и громоздки.

Наиболее удовлетворяет требованиям производства прибор, отвечающий следующим требованиям:

- 1) прибор переносного типа,
- 2) результаты измерения амплитуды смещения известны в процессе измерения или сразу после него,
- 3) показания прибора автоматически устанавливаются на ноль после окончания измерения,
- 4) прибор не нуждается в подстройке в процессе измерения,
- 5) датчик прибора выносного типа весом 100—150 г.

Выполнение перечисленных требований зависит от типа датчика, применяемого с прибором.

В практике измерений амплитуды смещения применяются потенциометрические, индуктивные, емкостные, резонансные датчики и датчики ускорений.

Потенциометрические датчики просты по конструкции [12], тарируются статически и в зависимости от применяемого диаметра провода для измерительного элемента обеспечивают требуемую точность измерений. Датчики могут применяться как с осциллографом, так и со стрелочным прибором (при увеличении напряжения питания катушки). Недостаток таких датчиков — недолговечность, так как измерительная катушка подвергается механическому износу при перемещении по ней контактов.

Индуктивные и емкостные датчики имеют одинаковые достоинства. Они также просты по конструкции, обладают большой чувствительностью, которая определяется величиной зазора между подвижной и неподвижной частями. Чувствительный элемент механическому износу не подвергается. Для питания датчиков необходим ток высокой частоты. Изготовлены могут быть датчики любой длины и достаточно компактные. Применяются индуктивные и емкостные датчики со стрелочным указателем и с осциллографом. Тарировка их статическая.

Резонансные датчики по существу являются и приборами, так как они указывают непосредственно измеряемую величину. Некоторые типы таких датчиков имеют ряд чувствительных элементов, один из которых колеблется в резонансе с измеряемым объектом. В других же чувствительный элемент один и его необходимо настроить в резонанс с измеряемым объектом, поэтому в данном случае на результат измерения оказывает влияние масса руки оператора. Датчики резонансного типа необходимо тарировать на специальных калибровочных стендах.

В датчиках ускорений (сейсмических) чувствительный элемент подвешен на пружинах, поэтому нет необходимости (как в потенциометрических, индуктивных и емкостных датчиках) в неподвижной опоре. Тарироваться такие датчики на калибровочных стендах. Так как датчики измеряют ускорение, то для получения смещения необходимо преобразование путем двойного интегрирования. Сейсмические датчики имеют минимальный вес по сравнению с остальными и не требуют вмешательства оператора в процесс измерения.

Наиболее простым средством измерения амплитуды смещения является измерительный клин [21].

Из рассмотренных датчиков потенциометрические не удовлетворяют требованиям производства, как не долговечные, резонансные же имеют большой вес (порядка 0,5—0,7 кг).

Наиболее подходят для производственных условий сейсмические датчики и измерительный клин, так как они обладают малым весом, показания их устанавливаются на ноль после окончания измерений. Поэтому мы их и принимаем.

Могут быть применены емкостные и индуктивные датчики, но для них необходимо решить проблему установки указателя на ноль после измерений.

Частота ударов молотка, которая определяет частоту вибрации, не имеет резких отклонений от табличной. Поэтому достаточно проверить в лаборатории частоту ударов одного-двух молотков из партии.

Таким образом, для измерения вибрации на стенде принимаем измерительный клин или прибор со стрелочным указателем, имеющий выносной датчик сейсмического типа.

### Выводы

В основу методики испытания пневматических рубильно-клепальных молотков на вибрацию считаем возможным принять следующие положения:

1. В процессе испытаний нажатие на рукоятку молотка осуществляется пружинно-массовой системой.
2. Молоток испытывается в вертикальном положении.
3. Измерения амплитуды смещения производятся в предельно основном режиме работы молотка.
4. Молотки, предназначенные для работы по стали и чугуну, испытываются на стальной плите, а предназначенные для работы по цветным металлам — на подставке из бронзы.

5. Инструментом служит симметрично заправленное зубило с углом заточки  $40^\circ$ .

6. Измерение амплитуды смещения производится измерительным клином или прибором переносного типа со стрелочным указателем. Датчик прибора выносной сейсмического типа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Вильнер. Стенд и аппаратура для виброиспытаний пневматических рубильных молотков. Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. Выпуск 1 (27). Профтехиздат, 1964.
2. Г. В. Родионов. Универсальный стенд для исследования пневматических машин ударного действия. Сб. Машины ударного действия. ЗСФАН СССР, Новосибирск, 1953.
3. Dickman D. Ein schwingungsmaschines Model für das schwingungs erregte Hand-Armsystem des Menschen. V. D. I. Zeitschrift N 1, 1959.
4. Сборник важнейших официальных материалов по вопросам гигиены труда и производственной санитарии. Выпуск 2, Медгиз, 1962.
5. Д. И. Судакевич, Г. И. Бернадский. Справочник по механизированному ручному инструменту. Машгиз, Москва, 1961.
6. В. И. Бабуров. Исследование пневматических рубильно-клепальных молотков. Кандидатская диссертация. Томск, 1964.
7. Б. В. Суднишников. К теории отдачи ручных машин ударного действия. Сб. Машины ударного действия. ЗСФАН СССР, Новосибирск, 1953.
8. В. Ф. Горбунов, В. И. Бабуров, Л. С. Редутинский, А. В. Триханов, Г. Г. Пестов. Исследование вибрации ручного молотка при работе по различным материалам. Горные машины и автоматика, № 56, 1964.
9. Н. Н. Есин. О начальных условиях рабочего цикла бурильных молотков. Сб. Машины ударного действия. ЗСФАН СССР, Новосибирск, 1953.
10. Н. И. Никишин. Отскок и его влияние на работу отбойных молотков и бетоноломов. Исследование и расчет ударных механизмов. Труды ВНИИстройдор-маш, выпуск XXX, Москва, 1961.
11. Schlobach E. Bestimmung der Leistung von Druckluft-Hämmern mit dem Einheitsprüfgerät. Glückauf, N 2, 3, 1937.
12. В. Ф. Горбунов, В. М. Гусаров, Л. С. Березин. Электрический способ записи виброграмм пневматических молотков. ИВУЗ, Горный журнал № 12, 1962.
13. Ленинградский механический завод. Виброметр типа ВК-2, ВК-3. Руководство к пользованию. Ленинград, 1957.
14. Н. П. Ряшенцев, Е. М. Тимошенко. Индукционный датчик для исследования рабочего процесса машин ударного действия. ИВУЗ, Горный журнал № 7, 1961.
15. Е. В. Александров. Коэффициент восстановления или коэффициент потери относительной скорости. Сб. Совершенствование разработки угольных месторождений. Углетехиздат, Москва, 1959.
16. А. Т. Белевцев. Потенциометры. Оборонгиз, 1962.
17. В. В. Юшин. Определение параметров внутреннего процесса шахтных пневматических машин ударного действия методом электрических измерений. Автореферат кандидатской диссертации. Днепропетровск, 1960.
18. М. Н. Ямщикова. Периодические движения виброударной системы при различных коэффициентах восстановления. Сб. Теория механизмов и машин. Выпуск 105—106. Наука, Москва, 1965.
19. М. С. Анциферов. Новые виброметры звукового диапазона. Сб. вибрационная техника № 3 (7). Москва, 1962.
20. Л. А. Осипович. Прецезионные малогабаритные пьезокварцевые датчики вибрационных ускорений типа ПКД. Приборостроение № 5, 1964.
21. Е. П. Андреева-Галанина. Исследования вибрации. Безопасность труда на производстве. Справочное пособие. Исследования и испытания. Metallurgizdat, Москва, 1964.