

В. Ф. ГОРБУНОВ, В. И. БАБУРОВ, Ю. А. ОПАРИН, Л. С. РЕДУТИНСКИЙ

ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РУБИЛЬНО-КЛЕПАЛЬНЫХ МОЛОТКОВ ПО САНИТАРНЫМ НОРМАМ

(Представлено кафедрой горных машин и рудничного транспорта)

Вибрация ручных пневматических молотков оказывает вредное влияние на организм рабочего. Вибрационное воздействие передается на правую руку от колебаний рукоятки молотков и на левую — от колебаний инструмента. Действие вибрации на организм людей вызывает различные болезненные последствия и ведет в конечном итоге к расстройству центральной нервной системы [1]. В связи с этим вопросам борьбы с вибрацией и исследованиям влияния различных факторов на ее величину уделяется большое внимание.

В данной работе дается оценка вибрации рубильно-клепальных молотков Томского электромеханического завода по действующим санитарным нормам [2] и изложены возникшие в результате этого замечания по содержанию последних.

Рубильные молотки типа МР (МР-4, МР-5, МР-6) и клепальные типа КЕ (КЕ-16, КЕ-19 и КЕ-22) производства Томского электромеханического завода используются для обрубки стального, чугунового и цветного литья, а также для обрубки и ликвидации различного рода дефектов на изделиях проката и поковках.

Амплитуда вибрации рубильно-клепальных молотков (рис. 1) в значительной степени зависит от величины усилий нажатия на рукоятку молотка. Экспериментальные исследования показывают, что эта зависимость (мы будем называть ее амплитудно-силовой) является весьма сложной. При определенных условиях работы она имеет перегибы минимум и максимум. Следовательно, установление действительной амплитуды вибрации должно осуществляться при конкретных усилиях нажатия. При этом, по нашему мнению, необходимо учитывать не только величину усилия нажатия, определяющую тот или иной режим колебаний молотка, но и условия работы, при которых внутренние процессы протекают более стабильно. Это вытекает из следующих соображений. На рис. 1, а, амплитудно-силовая характеристика молотков типа КЕ-16 при 5 *ати* разделена на отдельные характерные режимы колебаний.

В I режиме (рис. 1, а), мы назовем его первым переходным, работа молотков весьма неустойчива. Усилия нажатия малы по сравнению с величиной внутренней возмущающей силы, создаваемой давлением воздуха на стенки корпуса. Корпус молотка удаляется от инструмента настолько, что боек наносит удары по перемычке ствола и может разрушить ее (перемычка в рубильно-клепальных молотках конструктивно предусматривается для предотвращения выпадания ударника из ствола).

При первом переходном режиме колебания корпуса имеют наибольшую амплитуду, однако этот режим при эксплуатации молотков встречается весьма редко (при обрубке мелкого литья и производстве клепальных работ с заклепками небольшого диаметра).

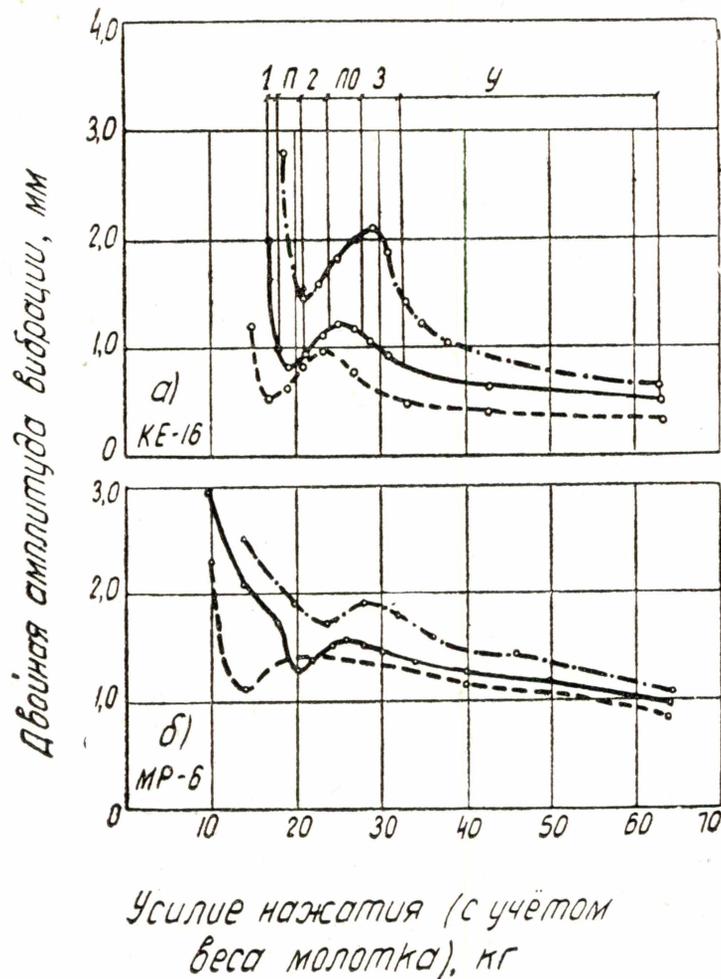


Рис. 1. Амплитудно-силовые зависимости молотков КЕ-16(а) и МР-6(б)
 Режим работы молотка: 1 — первый переходный; П — «плавающий»; 2 — второй переходный; ПО — предельно основной; 3 — третий переходный; У — обратные удары инструмента по корпусу молотка. — — — — 4 ати; — — — — 5 ати; — · — · — 6 ати.

Представляет интерес так называемый «плавающий» режим колебаний молотка [3] (рис. 1, а), при котором значительно снижается амплитуда колебаний корпуса и отсутствуют резкие изменения скорости его движения. Этот режим наиболее благоприятен с санитарно-гигиенической точки зрения. Однако выдержать усилие ручного нажатия, соответствующее «плавающему» режиму, практически невозможно.

Наиболее характерными режимами для практики являются: режим 2 (мы назовем его второй переходный), при котором корпус молотка через несколько циклов садится на буртик инструмента; предельно основной [4] (ПО, рис. 1, а), в котором посадки происходят в каждом цикле, 3 — режим (назовем его третий переходный) и «У» — режим, для которого характерны обратные удары инструмента по корпусу молотка. С точки зрения интенсивности вибрационного воздействия на организм рабочего наихудшие условия создаются в предельно основном режиме, так как амплитуда вибрации здесь наибольшая и скорость

движения корпуса резко изменяется по величине и направлению во время соударения с ограничительным буртиком инструмента.

При экспериментальном исследовании характера протекания внутренних процессов молотков в зависимости от усилия нажатия было установлено, что с повышением усилия нажатия частота ударов молотков сначала увеличивается, а затем при некотором усилии нажатия становится постоянной [5]. Как правило, стабилизация внутренних процессов наступает в предельно основном режиме. Следовательно, для предельно основного режима характерна наибольшая частота вибрации.

При увеличении усилия нажатия на молоток выше 30—35 кг (при давлении воздуха 5—6 *ати*) создается режим колебаний с малыми амплитудами, возникающими в основном вследствие возвратных ударов инструмента по корпусу молотка.

Учитывая приведенные выше характеристики основных колебательных режимов, представляется целесообразным производить оценку вибрации молотков при работе их в предельно основном режиме.

Усилия нажатия, обеспечивающие этот режим, можно определить по формуле

$$R_{\text{пр. о.}} = \frac{n}{60} \left[\sqrt{2Am} (\varepsilon + 1) + \frac{f_u \cdot S \cdot p_0}{K} + M_k V_k (\varepsilon_k + 1) \right] \pm M_k g \sin \alpha, \quad (1)$$

где n — частота ударов, уд/мин;

A — энергия удара, кгм;

m и M_k — масса ударника и корпуса, $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$;

ε и ε_k — коэффициент отскока ударника при ударе по хвостовику и корпуса при посадке на буртик инструмента;

V_k — скорость корпуса при посадке, м/сек;

f_u — площадь торца хвостовика инструмента, см²;

S — расстояние от торца хвостовика инструмента до центра выхлопных отверстий цилиндра молотка, см;

p_0 — давление воздуха в сети, кг/см²;

K — эмпирический коэффициент, учитывающий влияние факторов S и p_0 на величину импульса давления воздуха в передней полости.

Для молотков типа МР $K = 7000$ и типа КЕ $K = 870 p_0 + 3600$;

α — угол наклона молотка к горизонту, град;

g — ускорение силы тяжести, м/сек².

Если принять во внимание вес молотков, то рабочему для обеспечения предельно основного режима, работы молотками в разных положениях необходимо приложить разное усилие (табл. 1).

Таблица 1

Усилия нажатия, соответствующие предельно основному режиму колебаний корпуса молотка (по экспериментальным данным $p_0 = 5$ *ати*)

Тип молотка	Вес молотка, кг	Усилие нажатия, кг		
		горизонтальное положение	наклон молотка 45° к горизонту	вертикальное положение
МР-4	4,55	19,0	15,8	14,5
МР-5	5,4	19,5	16,7	14,1
МР-6	6,05	25,0	20,7	19,0
КЕ-16	7,3	25,0	19,9	17,7
КЕ-19	8,75	24,0	17,8	15,3
КЕ-22	9,5	24,5	17,8	15,0
КЕ-28	10,35	25,0	17,7	14,7
КЕ-32	11,35	28,0	20,0	16,7

При испытании молотков в лабораторных условиях (заводских или исследовательских) можно создавать фиксирование усилия нажатия на молоток. Определение величины усилия нажатия необходимого для обеспечения предельно основного режима работы конкретных молотков можно производить по формуле (1) или экспериментальным путем.

Рассмотрим теперь рекомендации временных санитарных норм по усилию нажатия. Нормами [2] рекомендуется определять амплитуду и частоту вибрации при усиллии нажатия 15 кг. При этом совершенно не указывается, по какому материалу должны наноситься удары и в каком положении молоток должен испытываться. Если предположить, что молоток должен испытываться при работе вертикально вниз и учесть его вес, то приведенное усилие нажатия будет равно

$$R_n = Q_m + 15 \text{ кг}, \quad (2)$$

где Q_m — вес молотка, кг.

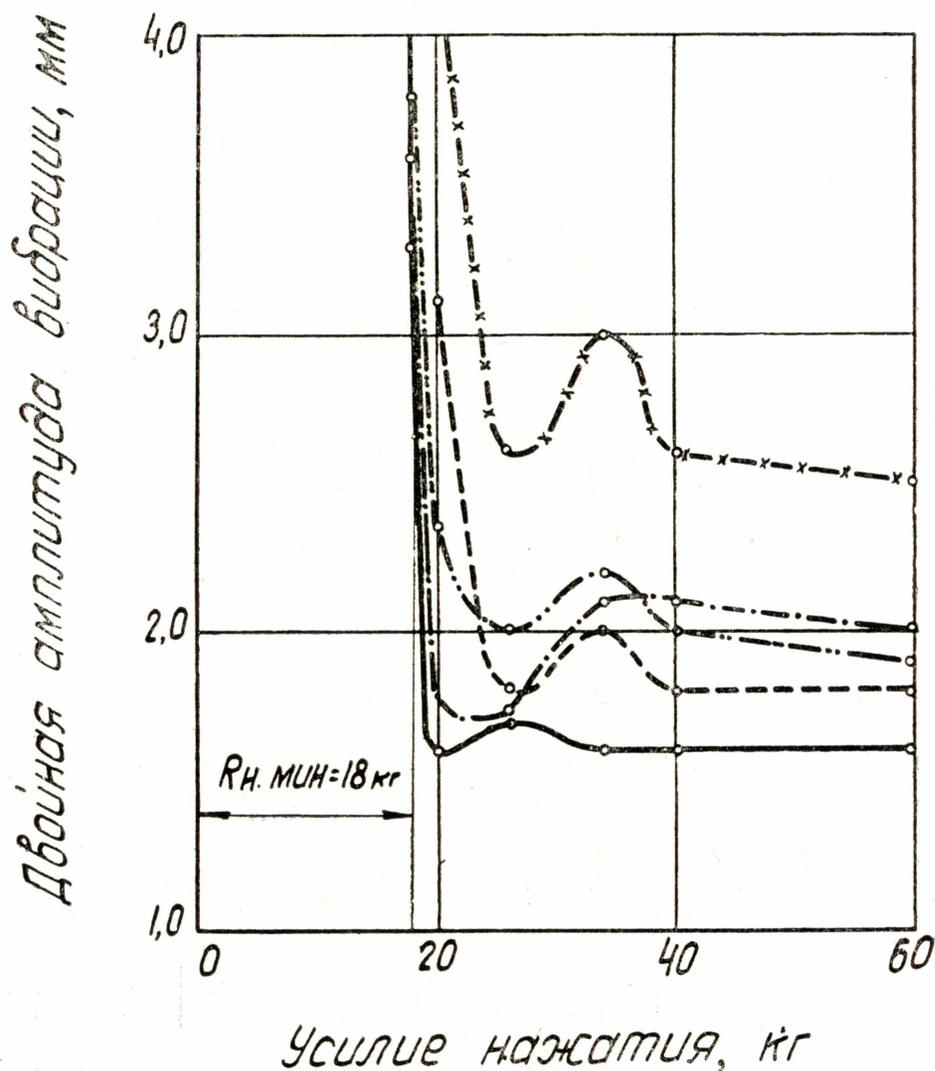


Рис. 2. Влияние усилия нажатия на амплитуду вибрации молотка КЕ-22 при работе по различным материалам — x — x — сталь; --- — чугун; --- — алюминий; --- — гранит; — — — — дерево.

То есть для молотка КЕ-32 $R_n = 26,3 \text{ кг}$; КЕ-28 — $25,3 \text{ кг}$ и т. д. Эти усилия близки предельно основному режиму работы молотков (табл. 1).

Испытывать молотки типа КЕ в горизонтальном положении при усилии нажатия 15 кг вообще нецелесообразно, поскольку в этих условиях происходят удары бойка по перемычке ствола.

Исходя из изложенного, считаем, что в части усилий нажатия, рекомендуемых при испытании молотков на вибрацию, санитарные нормы нуждаются в уточнении.

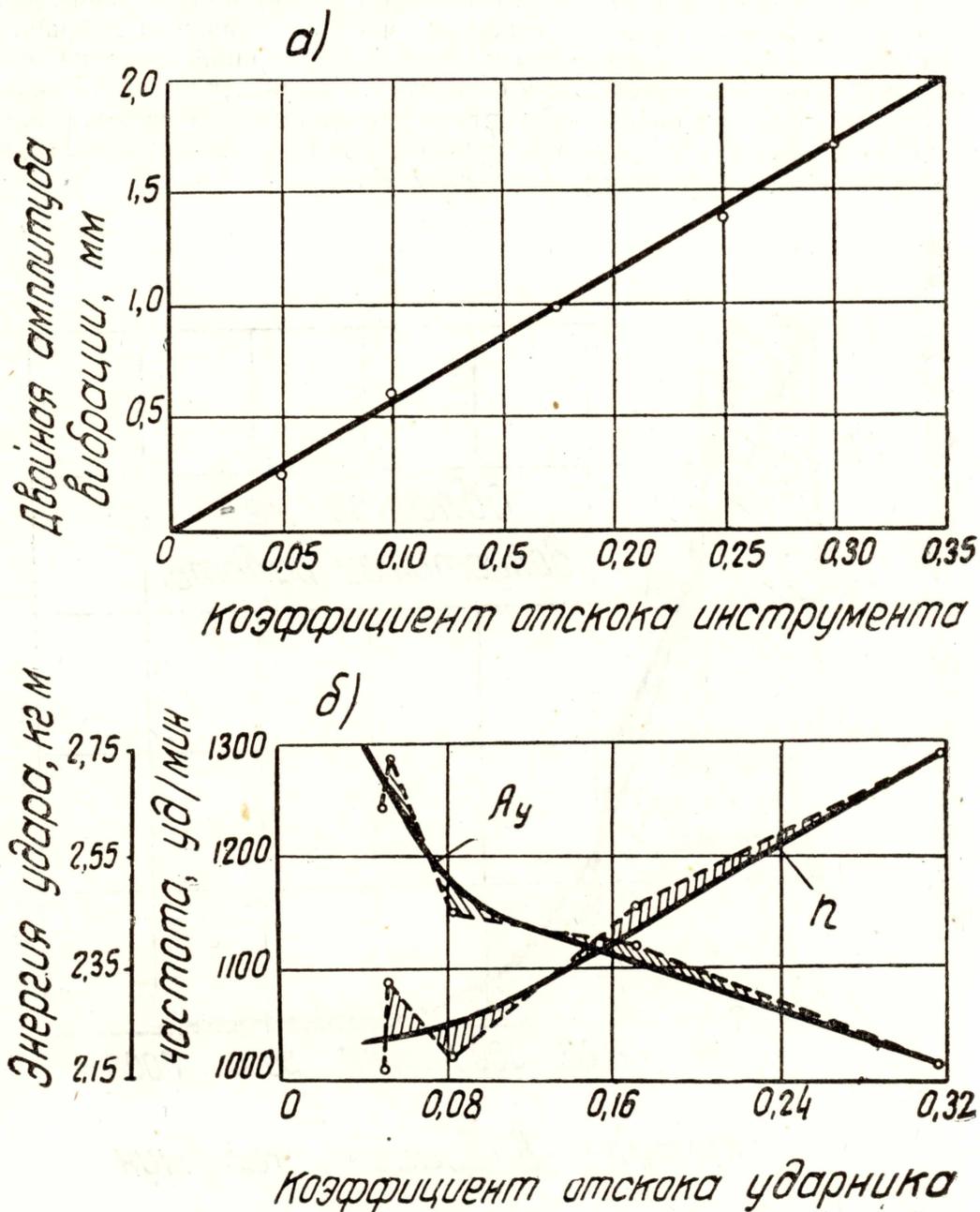


Рис. 3. Влияние упругих свойств (коэф. отскока) материала на амплитуду колебаний инструмента (а), частоту и энергию ударов молотка (б).

Экспериментальные исследования, поставленные с целью установления влияния свойств обрабатываемых материалов на вибрационные характеристики молотка КЕ-22, показали, что наихудшие условия с точки зрения вибрационного воздействия на организм рабочего создаются при нанесении ударов по стали (рис. 2). С увеличением модуля упругости обрабатываемой среды повышается основная частота (рис. 3, б)

и амплитуда вибрации (рис. 2). В связи с этим определение действительных вибрационных характеристик молотков (амплитуды и частоты) должно производиться при их работе по средам, соответствующим действительным условиям эксплуатации молотков. Заметим, что во временных санитарных правилах [2] такие рекомендации отсутствуют.

Во временных санитарных правилах по ограничению влияния вибрации на работающих ручным пневматическим инструментом записано, что в случае наличия наряду с основной частотой также и вибраций более высоких частот, требования к амплитуде вибрации основной частоты должны быть изменены в сторону ее уменьшения в 2—3 раза.

Практически при работе пневматическим молотком в любом режиме, кроме «плавающего», имеются субгармонические составляющие вибрации более высоких частот, чем основная.

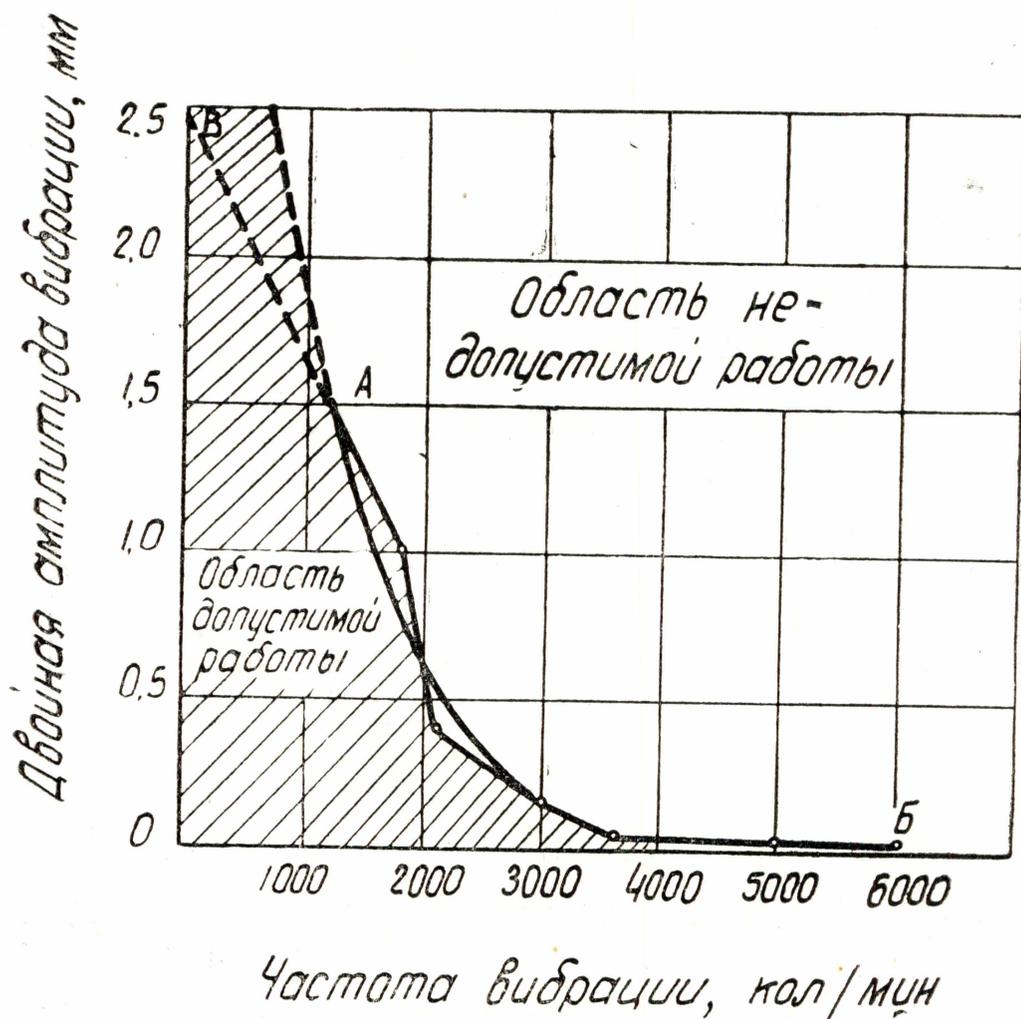


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика пневматического инструмента (по санитарным нормам на вибрацию).

Эти субгармоники обусловлены наличием соударений бойка, корпуса и инструмента и проявляются в зависимости от усилия нажатия в разной степени. И даже при «плавающем» режиме колебаний корпуса молотка на левую руку рабочего, которой он управляет инструментом, действует вибрация инструмента, в спектре которой преобладают высокие частоты. Амплитуда же колебаний инструмента зависит и от усилия

нажатия на молоток и от упругости обрабатываемого материала (рис. 3).

В связи с указанным считаем целесообразным ввести в санитарные правила и нормы соответствующие поправки, учитывающие наличие переходных процессов в спектре вибрации пневматических молотков.

Таблица 2

Вибрационные характеристики рубильно-клепальных молотков

Типы молотков	Давление воздуха в сети, <i>ати</i>	Частота колебаний корпуса, <i>кол/мин</i>	Амплитуда, <i>мм</i>		Коэффициент безопасности
			фактическая (основной вибрации)	допустимая по нормам	
MP-6	4	1500	1,4	2,4	1,7
	5	1580	1,5	2,3	1,5
	6	1630	1,9	2,2	1,1
MP-5	4	2260	0,7	0,7	1,0
	5	2370	0,9	0,6	0,6
	6	2460	0,9	0,6	0,6
MP-4	4	3270	0,35	0,27	0,77
	5	3470	0,30	0,12	0,40
	6	3700	0,50	0,08	0,16
KE-32	4	720	1,65	(3,70)	2,3
	5	790	3,0	(3,6)	1,2
	6	850	2,8	(3,5)	1,2
KE-28	4	790	1,7	(3,6)	2,1
	5	850	3,2	(3,5)	1,1
	6	960	3,8	(3,3)	0,9
KE-22	4	920	2,5	(3,4)	1,3
	5	1020	3,0	(3,2)	1,1
	6	1080	3,5	(3,1)	0,9
KE-19	4	1140	1,7	(3,0)	1,8
	5	1230	2,6	2,9	1,1
	6	1340	2,8	2,7	0,9
KE-16	4	1640	1,0	2,2	2,2
	5	1770	1,2	2,0	1,7
	6	1970	2,1	1,8	0,9

Примечание: 1. Амплитуды, указанные в скобках, получены по рис. 4.
2. В таблице даны „двойные“ амплитуды.

Остановимся еще на некоторых недостатках временных санитарных норм на вибрацию. Допустимые амплитуды колебаний ручных инструментов даны таблицей, нижний предел частот в которой ограничен 20 *гц*. Затруднительно поэтому определять допустимые амплитуды для молотков с меньшей частотой ударов. Например, молотки КЕ-22, КЕ-28 и КЕ-32 имеют частоту ударов соответственно 1100, 950 и 800 *уд/мин*.

При оценке вибрации этих молотков авторы применили следующий прием. Табличные значения допустимых амплитудно-частотных характеристик были представлены в виде графика, который был продолжен в области малых частот до вертикальной оси графика (участок АВ, рис. 4). По прямой АВ устанавливались в зависимости от частоты значения допустимых амплитуд для молотков КЕ-22, КЕ-28, КЕ-32.

На основании опыта пользования санитарными правилами считаем, что лучше было бы в нормах на вибрацию допустимую амплитудно-частотную характеристику молотков изобразить в виде графика.

В санитарных правилах не оговорены также условия работы молотков. В частности, вибрация корпуса молотка изменяется в зависимости от того, движется инструмент рубильного молотка, снимая стружку с изделия, или он неподвижен. При неподвижном инструменте вибрация более интенсивна.

В табл. 2 приведены сравнительные данные вибрации молотков без учета дополнительных колебаний или субгармоник вибрации, вызываемых обратными ударами инструмента по корпусу молотка. То есть производится оценка вибрации молотков только по основной частоте и амплитуде. Сравнивая фактические амплитуды с данными санитарных норм, необходимо отметить, что все испытанные молотки, кроме КЕ-32 и МР-6, имеют при давлении воздуха 6 *ати* амплитуды вибрации по основной частоте выше допустимых. При давлении воздуха 4 и 5 *ати* в нормы по вибрации не укладываются лишь молотки МР-4 и МР-5, имеющие повышенную частоту ударов.

Выводы

1. Экспериментальные исследования пневматических молотков показали, что взаимосвязь между амплитудой вибрации и усилием нажатия носит весьма сложный характер, являющийся отражением действия на корпус различных по величине и продолжительности сил. Основными из этих сил являются: переменное давление воздуха на стенки корпуса молотка, соударение корпуса при посадке на буртик инструмента, усилие нажатия рабочего, обратные удары инструмента по корпусу, удары бойка по перемычке ствола.

2. Усилие нажатия обуславливает различные формы движения корпуса пневматического молотка. В зависимости от формы движения корпуса можно выделить ряд наиболее характерных режимов работы молотка: первый переходный, «плавающий», второй переходный, предельно основной, третий переходный и режим, при котором колебания корпуса осуществляются только от действия на него обратных ударов инструмента.

3. Оценку вибрации пневматических молотков следует производить при усилиях нажатия, обеспечивающих их работу в предельно основном режиме, поскольку он является наиболее опасным с точки зрения вибрационного воздействия колебаний молотка на организм рабочего. Кроме того, он является и наиболее распространенным при эксплуатации молотков.

4. Временные санитарные правила по ограничению влияния вибрации пневматических молотков на организм рабочего имеют ряд суще-

ственных недостатков, которые необходимо в ближайшее время устранить. По нашему мнению, прежде всего необходимо изменить и дополнить те положения правил, которые касаются условий испытания молотков (усилия нажатия, давление воздуха, вид обрабатываемого материала и т. п.), уточнения амплитудно-частотных норм для малоударных молотков (менее 20 гц), а также по учету субгармонических составляющих вибрации корпуса молотка и инструмента, возникающих вследствие их соударений.

5. Испытания показали, что рубильные молотки МР-5 и МР-4 не удовлетворяют санитарным нормам по амплитуде и основной частоте вибрации. Остальные ручные пневматические молотки, выпускаемые Томским электромеханическим заводом, по этим показателям удовлетворяют нормам в случае их применения при давлении воздуха в сети не выше 5 ати.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Ц. Андреева-Галанина, В. Г. Артамонова, Э. А. Дрогичина. Вибрационная болезнь. Медгиз, 1961.
2. Сборник важнейших официальных материалов по вопросам гигиены труда и производственной санитарии. Вып. II, Медгиз, 1962.
3. Б. В. Суднишников. К теории отдачи ручных машин ударного действия. Сб. «Машины ударного действия», Новосибирск, 1953.
4. А. М. Петреев. О снижении отдачи ручных пневматических машин ударного действия путем совершенствования рабочего цикла. Известия СО АН СССР, серия технических наук, № 6, вып. 2, 1963.
5. В. И. Бабуров, В. Ф. Горбунов. Исследование внутренних процессов и параметров рубильно-клепальных молотков. Известия ТПИ, т. 123, Изд. Томского государственного университета, 1963.