

ПРИЧИНЫ ВИБРАЦИИ РУЧНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ МОЛОТКОВ И СПОСОБЫ БОРЬБЫ С НЕЙ

В. И. БАБУРОВ, В. Ф. ГОРБУНОВ, А. В. ТРИХАНОВ

(Представлена кафедрой горных машин и рудничного транспорта)

Вибрация ручного механизированного инструмента оказывает вредное вибрационное воздействие на организм человека, приводящее к профессиональному заболеванию, называемому вибрационной болезнью [1]. В настоящее время многие научно-исследовательские организации занимаются изучением вибрации ручных пневматических молотков с целью создания машин, безопасных для человека в вибрационном отношении. Исследование вибрации рубильно-клепальных молотков проведено в 1963 году в Томском политехническом институте. Испытание молотков произведено в условиях, близких к эксплуатационным. Исследованные молотки устанавливались наклонно к обрабатываемому изделию. Диаграммы внутренних процессов и виброграммы записывались во время работы молотка, который при этом, двигаясь вдоль изделия, вырубал стружку.

Одной из основных задач проведенных исследований служило установление причин и источников колебательных движений корпуса молотка с тем, чтобы, зная их, получить данные для дальнейшей разработки рекомендаций по снижению вибрации.

А. Причины и источники вибрации

В процессе исследований нами установлены следующие основные причины вредных для человека колебательных движений рубильных и клепальных молотков в зависимости от режимов и условий их работы:

- а) действие на корпус машины переменного по величине и времени давления сжатого воздуха, т. е. действие внутренней возмущающей силы;
- б) удары бойка по корпусу (перемычке) молотка;
- в) соударение корпуса молотка с буртиком инструмента при посадках, осуществляющиеся обычно при обратном ходе ударника;
- г) обратные удары инструмента по корпусу молотка;
- д) сотрясение корпуса молотка в момент удара ударника по хвостовику инструмента (быстрое продвижение корпуса вслед за внедряющимся инструментом под действием усилия нажатия и сил трения в направляющей буксе);
- в) колебания самого инструмента, передаваемые на левую руку рабочего.

В период изучения условий эксплуатации молотков аспирантом ТПИ В. И. Бабуровым выявлены и другие дополнительные источники вибрации машин, находящихся в эксплуатации, а именно:

а) жесткие или непосредственные удары бойка по задней стенке ствола, что обычно наблюдается у машин, имеющих незначительную длину заднего буфера и большой износ ствола и ударника. При обратном ходе ударника сжатый воздух из задней полости через зазоры между стволом и бойком уходит в переднюю полость и затем в атмосферу. По этой причине не образуется замкнутого пространства (буфера), и боек ударяет по рукоятке (в молотках типа КЕ) или по клапанному устройству (в молотках типа МР). Нередко из-за указанных ударов разрушается рукоятка молотка;

б) поперечные колебания молотка от нецентральных ударов бойка по хвостовику инструмента. Нередко вследствие износа внутренней поверхности буксы перекашивается хвостовик инструмента, поэтому при соударении ударника с хвостовиком образуется поперечная составляющая силы удара, что и приводит к поперечным колебаниям корпуса молотка;

в) источником вибрации являются также колебания самих обрабатываемых материалов, которые передаются на организм рабочего через инструмент и корпус молотка или непосредственно через конечности человека, если он находится в контакте с обрабатываемым объектом.

Причины возникновения поперечных колебаний были проанализированы польским инженером Левандовским [2]. Некоторыми из этих причин он называет: удары ударника по нижней части ствола, образующиеся вследствие износа ударника и ствола, удары хвостовика при колебании инструмента по боковой стенке направляющей буксы (при наличии износа буксы по внутреннему диаметру). К источникам вибрации ударного происхождения Левандовский относит также удары золотника воздушораспределительного устройства по корпусу и рукоятке молотка.

Как видно из изложенного, причины возникновения вибрации различны и зависят от конструкции молотков, режимов работы, условий эксплуатации, свойств обрабатываемых изделий, степени износа деталей и узлов, технологии изготовления и т. д. Результаты проведенных нами исследований вибрации молотков в зависимости от режимов и условий их работы могут быть использованы конструкторами и инженерами при создании новых, более безопасных в вибрационном отношении машин, а также при расчете виброгасящих устройств и элементов.

Б. Методы и способы борьбы с вибрацией

В настоящее время существует много способов и методов борьбы с вибрацией. Они разработаны советскими и зарубежными учеными и инженерами. Кратко проанализируем основные направления в снижении вибрации ручных пневматических молотков.

а) Изменение форм диаграмм давлений

Одним из главных источников вибрации молотков является действие внутренней возмущающей силы на стенки корпуса. Для уменьшения размаха колебаний машины от действия упомянутой силы Б. В. Суднишниковым было предложено изменить ее форму [3]. В 1955 году это предложение было реализовано Н. А. Клушиным [4]. Результаты проведенных им испытаний показали, что пневматические молотки, работающие с применением так называемого «цикла Суднишникова», имеют амплитуду вибрации намного меньше, чем машины с обычным циклом. В на-

стоящее время в СО АН СССР создан ряд принципиально новых и простых по устройству пневматических молотков, работающих по циклу Суднишникова.

На Томском электромеханическом заводе создано и изготовлено несколько рубильных молотков со сниженной вибрацией (в 2—4 раза). Уменьшение амплитуды вибрации здесь было достигнуто также путем изменения формы диаграммы результирующей силы.

Принципиальная схема пневматической машины ударного действия, у которой также достигнуто снижение вибрации путем изменения формы диаграммы, разработана А. М. Петревым [5].

Амплитуда вибрации этой машины по сравнению с отбойным молотком ОМПС-5 при работе в одном и том же режиме ниже в 1,2 раза. Изменение формы диаграмм давлений в полостях молотка позволяет не только уменьшить размах колебаний, но и снизить усилие нажатия, что особенно важно для ручных машин.

Исследованиями Г. А. Советова [6] установлено, что форма диаграмм давлений в полостях машины может быть изменена не только путем использования специальных воздухораспределительных устройств (Клушин Н. А.) и изменения сечения задней полости (Петреев), но также и за счет изменения сечения каналов, подводящих воздух в полость машины.

Таким образом, изменение форм диаграмм давлений в полостях пневматических машин является одним из наиболее важных и реально выполнимых мероприятий по снижению вибрации машин.

Основная идея этого способа сводится к следующему. Наиболее приемлемыми (простыми) способами необходимо добиться, чтобы сила, создаваемая давлением сжатого воздуха на заднюю стенку корпуса, изменялась как можно плавно по времени. Для сохранения параметров машины в этом случае рекомендуется повышать импульс давления воздуха в передней полости. Однако, по нашему мнению, рассмотренный способ уменьшения амплитуды вибрации не является универсальным, поскольку он не снижает вибрацию молотков, вызванную обратными ударами инструмента и другими причинами.

б) Применение упругих рукояток

Снижение вибрационного воздействия ручного инструмента на рабочего с помощью упругих рукояток является сейчас общепризнанным и более универсальным способом по сравнению с вышерассмотренными. Корпус рукоятки отделяется от ствола молотка пружинами малой жесткости (3—5 кг/см). Согласно закону колебаний массы на упругом основании [7] скользящая рукоятка характеризуется меньшим размахом колебательного движения, чем колеблющийся ствол.

Некоторые исследования в этом направлении были проведены В. И. Копытовым, П. М. Алабужевым и Ю. П. Цивинским [8, 9, 10]. Реальная машина с упругой рукояткой была заменена двухмассовой системой с двумя степенями свободы. С некоторыми допущениями эта модель молотка была описана математически и исследована.

Указанные исследования имеют большое теоретическое и практическое значение. В настоящее время они используются при расчете пневматических молотков с упругой рукояткой, а именно при выборе коэффициента жесткости пружины в зависимости от масс рукоятки и корпуса, а также частоты возмущающей силы. Исследования показали, что эффективность гашения вибрации с помощью упругих рукояток зависит от отношения частоты вынужденных колебаний, соответствующей числу ударов в секунду, к частоте собственных свободных колебаний системы.

Подобные исследования двухмассовой системы применительно к отбойному молотку с упругой рукояткой в 1962-63 году проведены на электронной модели В. Ф. Горбуновым и А. В. Трихановым [11, 12], которыми получены результаты, показывающие влияние условий работы молотка на эффект виброизоляции.

В настоящее время во многих научно-исследовательских, проектно-конструкторских и производственных организациях созданы молотки с виброизоляцией путем упругих рукояток. Виброгасящая рукоятка для пневмомолотков разработана в Институте горного дела им. Скочинского АН СССР, в Институте горного дела СО АН СССР (А. Н. Клушиным), а также в Томском политехническом институте [13]. Снижение вибрации с помощью рукоятки, отделенной от корпуса тремя оригинально расположенными пружинами, достигнуто в молотке, созданном С. И. Доброборским (завод «Пневматика», г. Ленинград). Конструкция молотка типа КЕ с виброгашением разработана также слесарем Харьковского турбинного завода Леонтьевым. Уменьшение вибрации рукоятки в молотке Леонтьева достигается при помощи цилиндрической пружины и пневматического буфера, образующегося между стенками рукоятки и корпусом.

Экспериментальные исследования молотков с упругими рукоятками показывают, что при правильном подборе параметров пружин можно достигнуть значительного уменьшения амплитуды вибрации (в 4—14 раз).

Применение упругой связи между рукояткой и корпусом уменьшает не только амплитуду вибрации, но и снижает максимальное значение силы отдачи и придает ей плавный характер изменения.

Основным и весьма существенным достоинством данного способа виброизоляции является то, что он позволяет уменьшать вибрацию, создаваемую многими силами, действующими на корпус молотка.

К недостаткам этого способа виброизоляции следует отнести:

а) необходимость отдельного расчета (подбора) упругих элементов для каждого типоразмера молотка;

б) при некоторых значениях усилия нажатия могут возникнуть сотрясения рукоятки вследствие ударов корпуса по рукоятке через держатели (фиксаторы положения рукоятки);

в) сложность передачи сжатого воздуха в предзолотниковую камеру распределительного устройства;

г) удлинение молотка из-за необходимости размещения упругих элементов между рукояткой и корпусом;

д) увеличение веса ручного инструмента;

е) усложнение конструкции машины в целом.

в) Гашение вибрации с помощью пневматических амортизаторов

Весьма перспективно использование в молотках пневматических амортизаторов. Колеблющийся ствол молотка сжимает в этом случае не пружину, а воздух, находящийся в замкнутой камере между рукояткой и стволом. Наибольший эффект виброизоляции с помощью пневматических амортизаторов достигается в том случае, если давление в камере автоматически регулируется с изменением усилия нажатия на рукоятку молотка. Схема такого амортизатора предложена Ю. П. Максимовичем и А. М. Петреевым [14].

В работе Левандовского А. [2] указывается, что в Венгерском институте охраны труда в качестве амортизатора применена воздушная подушка, в которой среднее давление воздуха регулируется в зависимости от свойств обрабатываемых материалов и величины усилия нажатия.

Однако реализация снижения вибрации с помощью пневматических амортизаторов осложняется наличием значительного трения в уплотнениях между стенками рукоятки и наружной поверхностью ствола молотка. По нашему мнению, трение можно свести до минимума, если вместо замкнутой камеры использовать амортизатор, представляющий собой резиновую оболочку, заполненную воздухом. Регулирование давления в оболочке будет осуществляться автоматически вследствие изменения объема оболочки при ее сжатии.

г) Применение упругих державок и специальных рукавиц

Для уменьшения вибрационного воздействия инструмента на организм человека в 1935 году советским инженером А. И. Павловым было предложено обтягивать резиновой оболочкой весь молоток, в том числе и державку рукоятки (патент № 44493, 1 февраля 1935). Этот способ прост и позволяет снизить влияние высоких частот на рабочего, однако влияние вибрации с большими смещениями по существу остается тем же.

В настоящее время некоторые предприятия применяют специальные рукавицы с вшитыми в них прокладками из пористой резины или других упругих материалов. Испытания, проведенные А. Г. Могильниченко по выявлению эффективности этих способов, показали, что они значительно снижают высокочастотную продольную вибрацию [15].

Уменьшение вибрационного воздействия путем использования упругих державок и рукавиц отмечено гигиенистами во многих работах. Они рекомендуют использовать для этой цели новые пластические материалы, губчатую резину, каучук и т. д. [16]. Несмотря на некоторый эффект виброизоляции с помощью перечисленных упругих материалов, все-таки они не защищают полностью человека от вибрационного воздействия.

д) Гашение вибрации от обратных ударов

Долгое время исследователи не обращали внимания на вибрацию молотков, вызванную обратными ударами инструмента. Поэтому методы борьбы с этим видом вибрации достаточно еще не разработаны и не исследованы. Однако в последнее время рядом авторов предложены конструктивные решения по гашению обратных ударов. А. Левандовским [2] рекомендуется для гашения соударений корпуса с инструментом применять специальную направляющую буксу. Виброгасящая букса Левандовского состоит из двух металлических втулок, между которыми помещено резиновое кольцо. Предлагаемое устройство просто по конструкции, и, по-видимому, использование его улучшит условия труда. Однако, по нашему мнению, устройство имеет существенные недостатки. Во время работы с молотком рабочий, держа левой рукой за инструмент, прижимает его книзу. В результате хвостовик перекашивается в буксе, вследствие чего могут возникнуть поперечные колебания передней части молотка из-за нецентральных ударов бойка по хвостовику.

Многими исследователями для смягчения обратных ударов инструмента и снижения скорости посадки корпуса на буртик предложено устанавливать между корпусом и буртиком упругие элементы из резины, цилиндрических тарельчатых пружин, вулканизированной резины и т. д. Несомненно, что все эти способы значительно снижают вибрацию молотка. Однако в производстве они не применяются, что нередко объясняется отсутствием указанных упругих элементов, а также тем, что на обрубке литья используются рабочие инструменты без ограничительных буртиков (с конусными и комбинированными хвостовиками).

е) Предотвращение ударов бойка по корпусу
(перемычке)

Единственным способом борьбы с ударами бойка по стволу молотка в настоящее время является создание в передней полости воздушного буфера. Этот способ оправдывает себя при соответствующей технологии изготовления молотков и рабочих инструментов. В противном случае, т. е. при быстром износе сопряженных поверхностей ударника и ствола, буксы и хвостовика, не образуется замкнутого пространства, и ударник наносит удар по перемычке, что нередко разрушает ствол (в нем появляются продольные трещины). В настоящее время стволы рубильных и клепальных молотков ТЭЗ не калятся, поэтому они быстро изнашиваются. Кроме этого, в практике обрубных работ применяются конусные хвостовики, которые при работе молотков допускают утечки воздуха из передней полости. По нашему мнению, для предохранения перемычки от ударов необходимо отказаться от использования конусных букс, улучшить технологию изготовления молотков или разработать ряд виброгасящих устройств, применение которых позволило бы снизить вибрацию при любой конструкции хвостовика инструмента.

ж) Предохранение левой руки рабочего от
воздействия вибрации инструмента

Во время работы обрубщик левой рукой держит инструмент и управляет им. Клепальщик обычно левой рукой держит молоток за переднюю часть ствола. В том и другом случае необходима защита левой руки от воздействия вибрации. Для этой цели предлагается использовать специальные упругие муфты, одеваемые на инструмент. Конструкция муфты с виброгашением разработана к. т. н. С. И. Доброборским. Испытания ее показали хорошие результаты. Для снижения воздействия вибрации зубила на левую руку обрубщики одевают на зубило резиновую муфту или работают рукавицами с прорезиненными упругими прокладками. Для защиты левой руки клепальщика В. Ф. Горбуновым, В. И. Копытовым и И. Ф. Высоцким рекомендуется применять молотки с упругой рукояткой, у которых есть дополнительный, так называемый ложный ствол [13]. Упругие муфты снижают продольные и поперечные смещения, передаваемые колеблющимся инструментом на руку обрубщика.

з) Прочие способы снижения воздействия вибрации

Кроме рассмотренных способов снижения вибрации пневматических молотков на интенсивность развития вибрационной болезни влияют и профилактические меры [1].

Исследованиями гигиенистов показано благотворное влияние подогревания воздуха, мытья рук под раздробленной струей подогретой воды (38—40°), снижения шума, обеспечения контроля за состоянием здоровья рабочих, питания, режима рабочего дня, организации рабочего места и т. д. Все эти меры играют существенную роль и способствуют снижению вибрационной чувствительности. Не менее важен контроль за состоянием самого молотка, т. е. износом его деталей. По мнению авторов, к эксплуатации не должны допускаться молотки с изношенными стволами, так как появляется новый источник продольной и поперечной вибрации вследствие ударов бойка по задней стенке молотка и нецентральных соударений с инструментом. Внутренняя поверхность ствола не должна иметь задиров, ее необходимо смазывать, особенно при работе в запыленных и загрязненных помещениях.

Заключение

Проведенный краткий анализ методов и способов уменьшения вибрационного воздействия молотков на организм человека показывает, что каждый из них имеет свои положительные и отрицательные стороны и только комплексное их применение позволит решить проблему виброизоляции. Этому должны предшествовать основательные исследования различных элементов и систем изоляции и гашения вибрации. По нашему мнению, наибольший эффект снижения воздействия вибрации может быть достигнут при комплексном применении следующих основных способов: упругих рукояток, измененных форм диаграмм давлений, гашения обратных ударов и ударов бойка по стволу, а также использование упругих муфт и державок на зубилах. В настоящее время в институте разработан ряд принципиальных схем рубильно-клепальных молотков с виброгасящими устройствами, по которым в ближайшее время будут выполнены рабочие чертежи и затем изготовлены опытные машины.

ЛИТЕРАТУРА

- Е. Ц. Андреева-Галанина, Э. А. Дрогичина, В. Г. Артамонова. Вибрационная болезнь. Л. 1961.
2. R. Lewandowski. O Potrzebie zmian konstrukcyjnych Narzedzi Pneumatycznych. Ochrona Pracy, 4, 1961.
3. Б. В. Суднишников. Влияние параметров прямого хода на мощность и отдачу пневматического молотка. Сб. машины ударно-вращательного бурения. Новосибирск, 1956.
4. Н. А. Клущин. Пневматические молотки с новым циклом, снижающим отдачу. Сб. Ударно-вращательное бурение. Новосибирск, 1956.
5. А. М. Петреев. К теории рабочего цикла пневматических машин ударного действия. Сб. Математические методы в горном деле, часть I, Новосибирск, 1963.
6. Г. А. Советов. Исследование вибрации и отдачи пневматических перфораторов. Автореферат канд. диссертации, Москва, 1963.
7. Ден-Гартог. Механические колебания. Физматгиз, 1960.
8. П. М. Алабужев, В. И. Копытов. Исследование колебаний груза, ударяющегося об ограничитель. Известия ТПИ, т. 108, 1958.
9. П. М. Алабужев, В. И. Копытов, Ю. П. Цивинский. Исследование колебаний системы с двумя степенями свободы с жестким ограничителем. Межвузовский сборник трудов. Вып. I, Новосибирск, 1963.
10. П. М. Алабужев, Ю. П. Цивинский. Амплитудно-частотная характеристика колебаний двухмассовой системы с ударом об ограничитель одной из масс. Межвузовский сборник трудов. Вып. I, Новосибирск, 1963.
11. В. Ф. Горбунов, В. М. Разин, А. В. Триханов. Некоторые результаты моделирования колебаний пневматических молотков с виброизоляционными устройствами. Сб. Математические методы в горном деле, часть I, Новосибирск, 1963.
12. В. Ф. Горбунов, А. В. Триханов. Исследование колебаний отбойного молотка с упругой рукояткой на электронной модели. Межвузовский сборник трудов. Вып. I, Новосибирск, 1963.
13. В. Ф. Горбунов, В. И. Копытов, И. Ф. Высоцкий. Некоторые результаты исследования опытного образца отбойного молотка с упругой рукояткой. ИВУЗ, Машиностроение, 10, 1963.
14. Ю. П. Максимович, А. М. Петреев. Исследование системы автоматического регулирования пневматического амортизатора отдачи. Сб. Математические методы в горном деле, часть I, Новосибирск, 1963.
15. А. Г. Могильниченко. Методы защиты от вредного воздействия пневматического инструмента. Опыт борьбы с шумом и вибрацией в промышленности. Материалы семинара, Сб. I, 1963.
16. Н. Н. Малинская, Л. Н. Шкаринов, А. Б. Чемный, Н. И. Ковшов. О гигиеническом значении высокочастотной вибрации механизированного вращательного действия, используемого в машиностроительной промышленности. Гигиена труда и профессиональные заболевания, 12, 1963.