

# СОЗДАНИЕ ПАССИВНОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ ВЫСОКООБОРОТНОГО РУЧНОГО ИНСТРУМЕНТА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Кирилин А.Н., Родин Н.П., Семененко Е.П., Луканенко В.Г.,  
Вякин В.Н.

Завод «Прогресс», Самарский государственный аэрокосмический  
университет, г. Самара

Важность исследований по снижению уровня вибрационной активности механизированного инструмента определяется необходимостью обеспечения безопасных условий труда человека-оператора и повышения производительности труда за счет повышения эффективности процессов обработки различных материалов, в частности, при резании. Для этих целей в настоящее время в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства применяются разные типы механизированного инструмента, например, высокогооборотные шлифовальные шпинделы, сверлильные головки, ручные шлифовальные машины, бензопилы и т.д. При создании новых конструкций такого инструмента необходимо учитывать его вибробезопасность. Для этого необходимо знать состояние проблемы снижения вибраций инструмента и перспективы развития в этой области.

Для многих видов машин вопросы вибрационной защиты имеют первостепенное значение на всех стадиях его создания: при осмыслиении зарождающейся идеи, при планировании и выполнении теоретических исследований, в экспериментальных исследованиях, во время конструкторских расчетов и разработок, при выполнении доводки машины и её серийном производстве.

Мероприятия по вибрационной защите операторов можно разделить на две группы. Первая включает мероприятия по установлению надлежащих параметров, свойств и режимов работы машины и её элементов и по оснащению машины дополнительными элементами. Вторая группа включает оснащение самого оператора защитными средствами, меры по обеспечению правильных приемов и технологий выполнения работ машинами и по предотвращению работы с машинами, неисправными и оснащенными некондиционными исполнительными механизмами.

Мероприятия по виброзащите весьма многоплановы, поэтому вполне последовательная классификация методов виброзащитной защиты затруднительна. Методы виброзащиты, в частности, могут быть классифицированы следующим образом:

- снижение интенсивности источников вибрации;
- снижение частоты периодичности движения механизма машины.

в том числе за предел диапазона частот нормированной вибрации;

- виброизоляции;
- снижение интенсивности вибрации элементов машины, передающих вибрацию;

- динамическое виброгашение, активная вибрационная защита.

Вибрационная защита операторов имеет ряд существенных особенностей по сравнению с вибрационной защитой персонала стационарных машин и транспортных средств, а также защитой оборудования и сооружений. Эти отличительные особенности предопределены рядом факторов.

При работе с ручной машиной оператор все время находится в тесном контакте, необходимом для её удержания. Это обуславливает непрерывное восприятие оператором со стороны машины вибрационных, силовых и шумовых воздействий.

Кроме того, создание средств виброзащиты затрудняется необходимостью удовлетворения двух противоречивых требований, с одной стороны нужно обеспечить малую жесткость системы при высоком уровне демпфирования, а с другой стороны ограничить податливость системы для нормального функционирования машины и восприятие статических нагрузок.

Традиционным средством конструктивного воплощения виброзащиты в ручных машинах являются виброзащитные рукоятки, ограничивающие контактную вибрацию.

Основная задача при создания виброзащитных рукояток состоит с том, чтобы сохраняя функциональное назначение, вписать их в габаритные размеры, массу и форму существующих типоразмеров ручных машин, обеспечив требуемое снижение контактной вибрации, или же вписать средства виброизоляции в существующие типы рукояток, значительно не видоизменяя их в сторону усложнения, увеличения массы.

Практика создания и эксплуатации ручных машин располагает значительным опытом применения виброзащитных рукояток. Известно множество их конструкций. Однако до широкого применения доводят немногие. Причиной тому служат не только низкая эффективность снижения контактной вибрации, но и не эргономичность, громоздкость конструкции, увеличение массы и габаритных размеров ручных машин.

Эффективность виброзащиты и удобство эксплуатации ручной машины во многом зависит от выбранного места расположения виброзолятора. Использование промежуточных виброизоляторов неизменно приводят к увеличению массы и габаритных размеров ручной машины, усложняет её. К тому же допускаемое в ряде случаев пренебрежение соотношением массы корпуса ручной машины и подпружиненной части

рукоятки за счет уменьшения массы последней снижает эффективность виброзащиты. Тем не менее, рукоятки с промежуточными виброизоляторами получили широкое распространение, особенно в перфораторах, бетоноломах, отбойных молотках. Применяются они и в рубильных молотках, трамбовках. В качестве средств виброизоляции здесь используются главным образом пружины сжатия, рычажно-клиновые элементы, пневмобаллоны.

Рукоятки со встроенными виброизоляторами отличаются простотой и небольшими габаритными размерами. Сложности возникают при выборе оптимальной компоновки средств виброизоляции, пускового механизма, каналов-проводников энергии, питающих ручную машину. Однако сложности эти преодолимы, и для многих типов ручных машин рукоятки со встроенными виброизоляторами могут служить средством повышения их вибробезопасности.

Для ручных машин ненаправленного действия (шлифовальные машины, щетки), а также для манипуляторов, фиксирующих зубила рубильных молотков, желательна круглая форма сечения рукоятки.

Ввиду острого дефицита пространства для размещения средств виброизоляции внутри рукояток особое значение приобретает использование упругодемпфирующих элементов с высокой степенью демпфирования, переменной жесткостью, сервоуправлением.

На рис.1 приведен ряд оригинальных конструкций рукояток со встроенными виброизоляторами, защищенных авторскими свидетельствами [2]

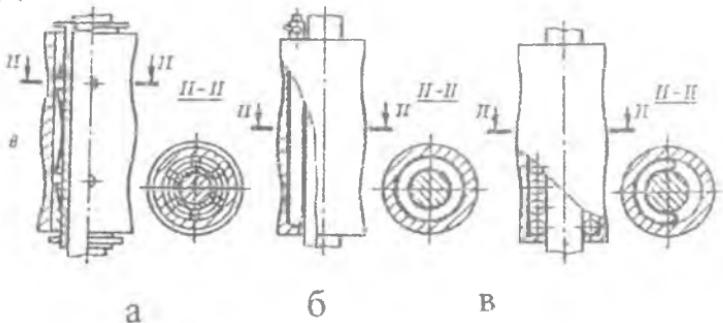


Рис.1.

Рукоятка (рис.1,а) со встроенным пружинным виброизолятором содержит систему плоских фасонных и цилиндрических пружин сжатия, смонтированных на тонкостенной цанговой втулке, устанавливаемой, например, на рабочем инструменте рубильных молотков и других цилиндрических стержнях, выполняющих роль рукояток.

Рукоятка (рис.1,б) со встроенным пневмобаллонным пневмоизолятором содержит полости из эластичного материала, заполняемые сжатым воздухом и охватывающие вставной инструмент или иные стержни.

В рукоятке (рис. 1,в) со встроенным эластично-трубчатым изолятором трубка уложена спиралью по всей её длине между стержнем-основанием и корпусом рукоятки по всей её длине. Трубка может быть полой или заполняться упругой средой.

Виброзащитные рукоятки с накладными виброизоляторами наиболее просты по устройству. Упругодемпфирующие элементы здесь выполняются в виде накладок, закрепляемых на поверхностях контакта руки оператора с рукояткой. Материалом для них чаще всего служит резина или иные полимеры. Однако эффективность виброзащиты их незначительна, особенно в условиях высокой вибративности, а на низких частотах фактически отсутствует. Перспективным может стать применение эластомеров, обладающих высокими упругодемпфирующими качествами.

Виброзащитные рукоятки с комбинированными виброизоляторами позволяют использовать в конструкциях ручных машин широкий арсенал современных средств виброизоляции и получать наиболее высокую эффективность виброзащиты обеих рук операторов. Ряд конструктивных схем таких рукояток рассматривается ниже.

Конкретную величину снижения уровней контактной вибрации виброзащитными рукоятками необходимо знать как на стадии проектирования, так и при эксплуатации ручных машин. В первом случае она определяется расчетом ожидаемой эффективности виброзащиты и выбора оптимальных конструктивных элементов. Фактически достигнутое снижение вибрации определяется экспериментально, инструментальными измерениями ее уровней на рукоятке, установленной на ручной машине.

Качество виброзащиты рукоятками принято оценивать коэффициентом эффективности виброзащиты, определяемым отношением вибродемпфирования (виброскорости) рукоятки, удерживаемой рукой человека, до и после установки между ней и корпусом виброизолирующих элементов.

Условие, при котором достигается виброзащита и исключается посадка подпружиненной массы рукоятки на основание, имеет вид

$$Q/\Delta h < C_B < C_p, \quad (1)$$

где  $Q$  - усилие нажатия рукой на подпружиненную рукоятку,

$\Delta h$  - величина возможного перемещения рукоятки в направлении, совпадающем с направлением воздействия нажимного усилия.

Анализ конструкций виброзащитных рукояток показывает, что использование в них промежуточных виброизолаторов позволяет обеспечи-

вать  $\Delta h$  в пределах 50 мм, а встроенных 5...20 мм.

Конкретная величина  $\Delta h$  зависит от типа ручной машины, условий ее эксплуатации, выбранной конструктивной формы виброзащитной рукоятки.

Ориентируясь на максимальную величину усилия нажатия, создаваемого рукой оператора на ручную машину,  $Q=200\text{Н}$ , можно определить граничные значения жесткости виброизоляторов, при которых имеет место эффект виброзащиты. Для указанных значений  $\Delta h$   $C_B = 4 \dots 40 \text{ кН/м}$ . Пользуясь методами машинной оптимизации, на стадии проектирования можно определять влияние на эффективность виброзащиты изменения жесткости и потерю виброизолятора, а также соотношения масс рукоятки и ручной машины.

В качестве виброизоляторов могут использоваться резина, сжатый воздух, металлические пружины, так называемые сетчатые демпферы и т.п.

Проведенный анализ конструкций виброзащитных систем ручного инструмента вращательного действия показывает, что существующие конструкции являются однокаскадными, а это в значительной степени снижает их эффективность из-за необходимости выполнения условия (1).

Конструктивно известные системы виброзащиты представляют собой либо упругодемпфирующие накладки на рукоятку, либо дополнительный подпружиненный корпус, где в частности в качестве упругого элемента может использоваться сжатый воздух.

При решении поставленной задачи был проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, связанных с вибрациями систем типа «рабочий орган (с приводом) – демпфирующие переходные виброизолирующие элементы – человек-оператор». Разработана математическая модель такой системы, позволяющая рассчитывать ее динамические характеристики.

В результате были предложены две модели виброзащитной системы для высокооборотного инструмента: однокаскадная и двухкаскадная. Расчетная модель позволила с достаточной для инженерной практики точностью получить качественные и количественные амплитудно-частотные характеристики системы, а также выбрать параметры элементов (массу, упругодемпфирующие свойства, их соотношения), которые дали возможность минимизировать уровень вибрации, действующей на человека, и определить диапазоны, в которых изменение параметров может принести существенный результат.

Теоретические исследования показали, что более эффективной является двухкаскадная система виброзащиты для инструмента типа пневмошлифовальных машин [1-6].

Именно эта система была выбрана для технической реализации на

опытном образце серийной пневмошлифовальной машины типа ПШТ-2.

Система была реализована в виде демпфирующего элемента, установленного между корпусом шлифовальной машины и двумя опорными подшипниками в передней ее части (первый каскад). Второй каскад представлял собой виброизолирующую рукоятку, устанавливаемую на корпусе машины.

По разработанной методике были рассчитаны и изготовлены два типа демпферов первого каскада (тросовый и гофрированный пластинчатый) и демпфирующий элемент сетчатого демпфера второго каскада из металлической сетки, пропитанной резиной и впоследствии вулканизированной. Были определены необходимые параметры демпферов, изготовлено оборудование для их производства.

Испытания разработанной системы виброгашения проводились в условиях производства на специальном виброметрическом стенде завода «Прогресс». При этом замерялся уровень виброскорости на рукоятке машины как на холостом ходу, так и при обработке алюминиевого сплава с помощью шарошки. Замер вибраций осуществлялся как в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности, так и в ортогональном направлении.

Испытания подтвердили высокую эффективность разработанной виброзащитной системы. Они показали, что двухкаскадная система существенно снижает уровень вибраций и одновременно улучшает условия

работы подшипников с точки зрения их вибрационного нагружения. Применение даже только второго каскада демпфирования с демпфером в виде втулки при ориентации проволоки сетки под углом 45° к оси машины также позволило снизить уровень вибрации на рукоятке на 10...20 дБ во всем диапазоне исследованных частот (8...1000 Гц) по сравнению с исходной конструкцией без системы виброзащиты.

Это дает основание для использования разработанных виброзащитных систем при модернизации и изготовлении нового ручного механизированного инструмента с пониженным уровнем виброактивности.

### Список литературы

1. Онищенко В. Я. Локальная виброизоляция рабочих мест в литейных цехах //Машиностроитель. 1981. № 6. С.28-29.
2. Дуганов Г.В., Онищенко В.Я. Совершенствование систем виброизоляции ручных машин // Изв. вузов СССР Машиностроение. 1979 № 9. С.33-38.
3. Аруин А.С., Зациорский В.М. Эргономическая биомеханика //М.: Машиностроение. 1998. 256с.

- Пахомов А.В. Снижение вибраций на пневмоинструментах // Сб. Научных трудов МАДИ. Охрана труда на автомобильном транспорте и дорожном строительстве М.: Изд. МАДИ.1980. С. 35-40.
- Чегодаев Д.Е., Пономарев Ю.К. Демпфирование – Самара:СГАУ, 1997. 334с.
- Луканенко В.Г., Кирилин А.Н., Семененко Е.П.. Родин Н.П. Опоры высокоскоростных и прецизионных роторов. Расчет и проектирование – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2000 – 132 с.:ил.

## АНАЛИЗ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ ВАКУУМНОЙ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЕВ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Богданович В.И.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г.Самара

Обычно эффективность мероприятий по повышению качества изделий обработкой оценивается сравнением средних значений данного показателя качества изделия с покрытием и без него. Однако такой подход нельзя признать полным, так как во многих случаях изменяется не только среднее значение показателя, но и дисперсия его рассеивания. В связи с этим представляет интерес полный анализ повышения качества изделий вакуумной ионно-плазменной обработкой на основе критериев и методов теории надежности. Тем более, что методология теории надежности предсказывает существенное влияние дисперсии параметра на показатели качества [1].

Действительно, любой показатель качества изделия, сформированный при выполнении технологического процесса, является случайной величиной, подчиненной определенному закону распределения. Это распределение обычно характеризуется двумя численными характеристиками – математическим ожиданием (средним значением) и дисперсией (среднеквадратичным отклонением). Естественно, сравнивать между собой количественно два распределения значений показателя качества до и после обработки невозможно, но ограничиваться сравнением только средних значений допустимо лишь при близких значениях их дисперсий [1].

Вместе с тем в теории надежности для объективной оценки вводятся показатели "вероятность безотказной работы" и "гамма-процентный ресурс", которые позволяют провести сравнение показателей