

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВИБРАЦИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к выполнению
лабораторных работ

КУЙБЫШЕВ 1987

УДК 658.382.3.(075) + 378.43

Приводятся необходимые сведения о вибрации и характеризующих ее параметрах, рассмотрены воздействие производственных вибраций на организм человека и мероприятия по ослаблению и устранению их влияния. Даны материалы по нормированию вибрации и средствам индивидуальной защиты; приводится описание установки, применяемой современной аппаратуры для исследования вибраций и методика проведения лабораторной работы.

Методические указания предназначены для студентов всех факультетов института.

Составитель доц. к.т.н. П. А. Бодров

Рецензенты: кафедра охраны труда Ленинградского института им. М. П. Калинина;
доц. к.т.н. А. В. Сметанин;
доц. к.т.н. В. Г. Луканенко

Цель работы: Ознакомление с вредным воздействием производственных вибраций на организм человека и нормированием вибраций; изучение мероприятий, направленных на снижение вибраций на рабочем месте, методов расчета и экспериментального исследования эффективности виброизолирующего крепления; знакомство с конструкцией современной виброизмерительной аппаратуры НВА-1 и методикой ее применения при измерении производственных вибраций.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВИБРАЦИИ

В соответствии со СТ СЭВ 1926-79. Вибрация. Термины и определения. *под вибрацией* понимается *движение точки или механической системы, при котором происходит поочередное возрастание и убывание по времени значений, по крайней мере, одной координаты.*

По механизму возбуждения вибрации могут быть *свободными* и *вынужденными*.

Любая система, выведенная из состояния равновесия, совершает свободные (собственные) колебания, которым свойственны определенные периоды и частота. Характер свободных колебаний зависит от свойств самой системы, ее размеров, массы и других параметров. Свободные колебания системы находятся под действием силы инерции, равной произведению массы на ускорение, силы внутреннего трения, пропорциональной скорости колебания, и силы упругости, пропорциональной отклонению от положения равновесия. Они постоянно затухают, так как энергия движения вследствие трения переходит в тепловую энергию.

Вынужденные колебания возникают под действием внешних периодических вынуждающих сил и всегда сопровождаются возникновением собственных колебаний. При совпадении частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний наступают явления *резонанса, сопровождающиеся резким увеличением амплитуды колебания системы.* Наиболее простой вид вынужденных колебаний—*синусоидальные (или гармонические) колебания.*

Основными параметрами вибрации, происходящей по синусоидальному закону, являются: амплитуда виброперемещения X_m ; амплитуда колебательной скорости v_m ; амплитуда колебательного ускорения a_m ; период колебаний T ; частота f , связанная с периодом колебаний соотношением $f = 1/T$.

В общем случае физическая величина, характеризующая вибрацию (например, виброскорость), является некоторой функцией времени $v = \varphi(t)$. Такой процесс может быть представлен в виде суммы бесконечно делящихся синусоидальных колебаний с различными периодами и амплитудами.

В случае периодического процесса частоты этих составляющих кратны основной частоте процесса: $f_n = n f_1$ ($n = 1, 2, 3, \dots$; f_1 — основная частота процесса).

Если же процесс не имеет определенного периода (случайные или кратковременные одиночные процессы), то число таких синусоидальных составляющих становится бесконечно большим, а их частоты распределяются непрерывным образом.

Таким образом, спектр периодического или квазипериодического процесса является дискретным (рис. 1,а), а случайного или кратковременного одиночного процесса — непрерывным (рис. 1,б).

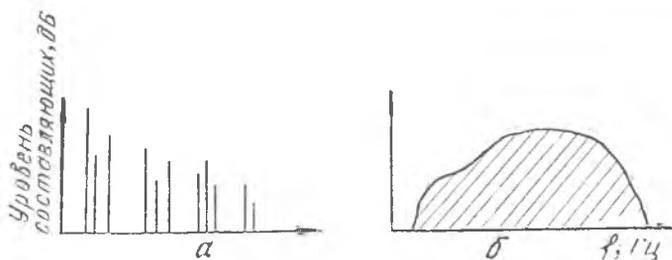


Рис. 1. Спектры вибраций

Следует иметь в виду, что изображение непрерывного спектра требует обязательной оговорки о ширине Δf элементарных частотных полос, к которым относится изображение. В практике виброакустических исследований весь диапазон частот вибраций разбивают на октавные диапазоны. В октавном диапазоне верхняя граничная частота вдвое больше нижней: $f_2/f_1 = 2$, а в качестве частоты, характеризующей октавную полосу в целом, берется среднегеометрическая частота $f_{ср} = \sqrt{f_1 f_2}$. Среднегеометрические частоты октавных полос вибраций стандартизированы. Анализ и построение спектров параметров вибраций могут производиться также в третьоктавных полосах частот, у которых $f_2/f_1 = \sqrt[3]{2}$. В третьоктаве $f_{ср} = \sqrt[3]{2} \cdot f_1$.

Для характеристики вибраций используют спектры не амплитудных, а действующих значений параметров. Напомним, что под *действующим значением параметра* понимают *среднеквадратичное его мгновенных значений за время усреднения, например:*

$$v_x = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}.$$

При гармонических колебаниях средние квадратичные значения виброскорости и виброускорения можно выразить через амплитудные значения соответственно: $v_v = \frac{v_m}{\sqrt{2}}$ и $a_x = \frac{a_m}{\sqrt{2}}$.

Поскольку абсолютные значения этих параметров изменяются в очень широких пределах, виброскорость и виброускорение принято выражать в уровнях параметра относительно условного нулевого порога. *Уровень параметра* — это *логарифмическое отношение значения параметра к его пороговому (опорному) значению, выбранному в качестве начала отсчета.*

Так, уровень виброскорости определяют по формуле

$$L_v = 10 \lg \frac{v_x^2}{v_0^2} = 20 \lg \frac{v_x}{v_0}.$$

где v_x — действующее (среднеквадратичное) значение виброскорости (берется в соответствующей полосе частот);

v_0 — пороговое значение виброскорости, равное $5 \cdot 10^{-8} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Измеряют уровень действующих значений колебательной скорости и виброускорения в децибелах (дБ).

II. ВОЗДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ НА ЧЕЛОВЕКА

Увеличение производительности и, как следствие этого, рост мощностей и быстроходности современного технологического оборудования при одновременном снижении его материалоемкости, уменьшение статических нагрузок на человека сопровождаются нежелательным побочным эффектом — усилением вибраций. Вибрация оказывает вредное действие на оборудование, понижая КПД машин и механизмов, вызывая ускоренный износ их деталей, необходимость частых наладок и ремонта.

Вибрации оказывают вредное влияние и на здоровье людей.

По характеру действия на организм человека вибрацию принято подразделять на общую и местную (локальную). *Общая* (вертикальная и горизонтальная) *вибрация* передается на все тело человека, а *местная* — на руки работающего. Возможно комбинированное воздействие общей и местной вибрации.

Действие общей вибрации, вызванной работой технологического оборудования (машин, станков и т. п.), вследствие сотрясения пола, площадки, сидения, на котором находится работающий, распространяется на весь организм.

Действие местной вибрации распространяется на отдельные участки тела, непосредственно соприкасающиеся с источниками вибрации, например, при работе ручными машинками (сверлильными, клепальными, шлифовальными), отбойными молотками; при контакте с вибрирующими деталями и т. д.

Вредность воздействия общих вибраций объясняется следующим. Внутренние органы и отдельные части тела человека (сердце, желудок, голову и др.) можно рассматривать как колебательные системы, имеющие различные сосредоточенные массы и соединенные между собой упругими элементами. Большинство внутренних органов имеют собственную частоту колебаний в диапазоне 6—9 Гц. Воздействие на организм человека внешних колебаний с такими же частотами может вызвать резонансные колебания внутренних органов, привести к их смещению и даже механическим повреждениям. Человек легче переносит воздействие горизонтальных колебаний, чем вертикальных. Особенно чувствителен организм к вертикальным сотрясениям, когда работающий находится (стоит) на вибрирующей поверхности и сотрясения распространяются от ног к голове.

Местные вибрации вызывают спазмы сосудов, которые начинаются с концевых фаланг пальцев и распространяются на всю кисть, предплечье, захватывают сосуды сердца. Вследствие этого происходит ухудшение снабжения конечностей кровью. Одновременно наблюдается воздействие вибрации на нервные окончания, мышечные и костные ткани, выражающееся в нарушении чувствительности кожи, окостенения сухожилий мышц и отложении солей в суставах костей рук и пальцев, что приводит к болям, деформациям и уменьшению чувствительности суставов. Все указанные изменения усиливаются в холодный период года. При локальной вибрации, как и при общей, наблюдаются нарушения деятельности центральной нервной системы.

При длительном и интенсивном воздействии вибраций может возникнуть тяжелое и трудно излечимое заболевание — вибрационная болезнь.

При воздействии общей вибрации начальные стадии этой болезни проявляются в виде головных болей, нарушения сна, повышенной утомляемости и раздражительности; возможны головокружения.

При воздействии местной вибрации признаками вибрационной болезни являются ноющие боли в области костей и пальцев рук, чувство онемения, повышенная утомляемость рук, слабость в кистях.

тях. Внешне кисти имеют отечный вид, нередко утолщения суставов пальцев рук. Со стороны периферической нервной системы наблюдается нарушение болевой, температурной и вибрационной чувствительности.

Важное гигиеническое значение имеет частота вибраций.

Частота ниже 35 Гц вызывает больше всего изменения в нервно-мышечной системе, желудочно-кишечном тракте и в костно-суставном аппарате. Частоты 35—250 Гц, характерные при работе с инструментами, вызывают преимущественно вибрационную болезнь со спазмами сосудов. Клинические наблюдения показали, что значительное нарастание патологических явлений в организме человека происходит с увеличением частоты вибраций и прежде всего в сосудистой системе. Поэтому амплитуда предельно допустимых вибраций должна резко снижаться с увеличением частоты.

Вредное воздействие вибраций тем больше, чем сложнее трудовой процесс, чем больше он насыщен элементами умственной работы. Отрицательное воздействие вибраций усиливается при наличии шума. И поскольку вибрации и шумы являются спутниками во всех сферах деятельности человека, постольку устранение или снижение до минимального уровня вибраций и шума становится задачей огромного социального значения.

III. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОСЛАБЛЕНИЮ И УСТРАНЕНИЮ ВИБРАЦИЙ

Мероприятия по борьбе с производственными вибрациями должны намечаться при проектировании зданий, конструировании машин и агрегатов, при строительстве промышленных зданий, изготовлении станков и оборудования и их эксплуатации.

Выявление источников и причин возникновения вибраций должно быть совмещено с регистрацией и изучением их спектров. Только опираясь на исследования амплитудно-частотных характеристик, можно наметить и провести в жизнь технические мероприятия, направленные на устранение причин возникновения вибраций.

Немаловажное значение имеют правильная эксплуатация оборудования, его профилактическое обслуживание и ремонт.

Общие мероприятия по борьбе с вредным воздействием вибраций (при частотах свыше 16—20 Гц вибрации и шум возникают совместно) обычно проводятся по трем направлениям: инженерно-техническому, организационному и лечебно-профилактическому.

Инженерно-технические мероприятия включают внедрение средств автоматизации и прогрессивной технологии, исключая контакт работающих с вибрацией, изменение конструктивных параметров машин, технологического оборудования и механизиро-

ванного инструмента. К средствам защиты отнесены следующие устройства: ограждающие, виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие (ГОСТ 12.4.011-75), а также средства автоматического контроля, сигнализации и дистанционного управления.

Организационные мероприятия включают контроль за монтажом оборудования на производственных площадках, своевременным и качественным проведением планово-предупредительного обслуживания и ремонта, выполнении правил технической эксплуатации машин и агрегатов.

Сюда же относятся разработка и внедрение физиологически обоснованных режимов труда и отдыха лиц, подвергающихся воздействию вибрации, а также обеспечение их средствами индивидуальной защиты.

Лечебно-профилактические мероприятия обеспечивают необходимый микроклиматический режим и комплекс физиотерапевтических процедур (водные ванны, массажи, гимнастика, ультрафиолетовое облучение).

К конструктивным технологическим мерам в борьбе с вибрацией относятся совершенствование кинематических схем и конструктивных форм для безударного взаимодействия деталей и плавного обтекания их воздушными потоками, изменение жесткости или массы для уменьшения амплитуд колебаний и устранение резонанса. Осуществлять это можно заменой кулачковых и кривошипных механизмов на равномерно вращающиеся или механизмы с гидроприводами. Снижение уровня вибраций в редукторах и шестеренчатых приводах можно достигнуть заменой шестерен с прямым зубом шестернями со специальными видами зацеплений (глободальным, шевронным и т. п.). Целесообразна также замена металла шестерен пластмассами или текстолитом. Существенное значение имеет точность обработки и тщательность сборки.

Большое влияние на уровень вибрации оказывает неуравновешенность вращающихся масс, одним из способов устранения которой является балансировка. В широко применяемых шлифовальных машинках существенное значение для снижения вибраций имеет повышение качества шлифовальных кругов, включающее снижение величины дисбаланса, уменьшение массы и применение высокоскоростных кругов с допустимой окружной скоростью 80 м/с и более, оснащение машин специальными устройствами для уравнивания круга непосредственно на машинке.

Хороший эффект в ослаблении вибраций достигается также при использовании динамических гасителей вибраций — механических колебательных систем с резонансной частотой к частоте объекта: при жестком креплении к вибрирующей конструкции упругого элемента-гасителя в нем возбуждаются колебания, находящиеся в противофазе с колебаниями конструкции (запаздывание возбуждения).

В технологическом оборудовании достаточно широко используется вибродемпфирование, способствующее уменьшению уровня вибраций путем превращения энергии механических колебаний, возникающих в оборудовании, в другие виды энергии. Достигается это использованием конструктивных материалов с большим внутренним трением; нанесением на поверхность изделия слоя упруго-вязких материалов, обладающих большим внутренним трением; использованием поверхностного трения введением в конструкцию дополнительного поглощающего элемента или покрытия, увеличивающего активные потери в системе; перевода механической колебательной энергии в энергию токов Фуко или электромагнитного поля.

Жестко соединенный с основной металлической конструкцией вибропоглощающий слой участвует вместе с ней в периодических деформациях, вызываемых вынуждающими силами, или в автоколебаниях; при этом колебательная энергия распределяется между конструкцией и вибропоглощающими слоями пропорционально их вкладу в общую жесткость конструкции и покрытия. Вибропоглощающие покрытия позволяют одновременно уменьшить излучение шума до 10 дБ в областях средних и высоких частот.

В качестве покрытий широко используются мастики. Хорошими вибропоглощающими свойствами обладает слоеный материал: металлические листы, склеенные слоем вязкого вещества, или пакеты металлических листов с разными характеристиками.

Наиболее полно отвечают требованиям демпфирования пластмассы (корпуса, рукоятки), текстолит и капрон (шестерни), дельтадревесина и капрон (втулки), нейлон (подшипники). Кроме того, упругие свойства нейлона позволяют удерживать болтовые соединения подвижных деталей в затянутом состоянии, предохраняя их от развинчивания при вибрациях конструкций. Борьба с вибрациями при создании машин и технологических процессов является наиболее эффективной. Снижение вибраций в конструкциях, как правило, приводит к уменьшению шума агрегатов и повышению их надежности.

Однако не всегда возможно снизить вибрации и шум в самом источнике их возникновения; тогда это достигается применением устройств, препятствующих распространению колебаний, изолирующих и поглощающих энергию вибраций машин.

Этим целям служат на стадии проектирования строительно-планировочные мероприятия. При планировке предприятия шумные и вибрирующие цехи и участки концентрируются в одном месте и располагаются на территории с подветренной стороны. Устанавливается необходимое расстояние между шумными и тихими цехами, причем здания с виброустановками по отношению к обычным ориентируются так, чтобы окна их не были обращены друг

к другу. Вокруг таких зданий устраивается зеленая зона. Ограждающие конструкции проектируются утолщенными и многослойными — колебания активно гасятся при переходе из одной среды в другую.

Для ограничения распространения колебаний применяются монолитные, тяжелые, многослойные конструкции преград с необходимой величиной акустической изоляции и поглощающих энергию вибраций.

Агрегаты, возбуждающие вибрации, устанавливаются в нижних этажах на массивных углубленных фундаментах, виброизолированных и не связанных жестко с конструкцией зданий. Нижняя часть фундамента должна быть значительно ниже фундамента стен здания для уменьшения передачи на них сотрясений. Фундаменты для оборудования с неуравновешенными частями выполняются с вертикальными акустическими разрывами, заполненными пористым материалом, и акустическим швом, расположенным в нижней части фундамента.

Источником вибраций трубопроводов является пульсирующий поток газа. Для сглаживания пульсации газа ставят буферные емкости (резервуары), акустические (реактивные и активные) фильтры. Для виброизоляции можно применять и гибкие элементы (вставки), например, на воздуховодах вентиляции в местах их соединения с вентиляторами и при прохождении через конструктивные элементы зданий.

Одним из способов защиты работающих от вибрации является виброизоляция машин. Ослабить передачу колебаний от источника на его основание можно, устранив между ними жесткие связи с помощью промежуточных упругих элементов. В качестве таких элементов могут быть использованы стальные пружины или прокладки из упругих материалов (резины, пробки, битуминизированного войлока и т. п.). Широко применяются металлорезиновые виброизоляторы. Благодаря виброизоляции машины существенно уменьшаются вибрации на рабочих местах, расположенных вблизи от машины, хотя вибрации самой машины могут оставаться достаточно большими.

Передача вибраций зависит от соотношения частот — собственной частоты колебаний системы и частоты вынужденных колебаний. Собственная частота колебаний машины, установленной на виброизоляторах, зависит от параметров системы: $f_0 = \sqrt{c/m}$, где c — жесткость виброизоляторов, H/m ; m — масса машины, кг. Частота вынужденных колебаний определяется частотой вынуждающей силы. Если вынуждающая сила возникает из-за неуравновешенной массы с угловой скоростью ω , то частота вынужденных колебаний равна $f = \omega/2\pi$.

Эффективность виброизоляции оценивают коэффициентом передачи, учитывающим отношение силы $F_{\text{осн}}$, действующей на основание при наличии упругой связи, к амплитуде вынуждающей силы F_m . Практически он определяется через соотношение частот:

$$\text{КП} = \frac{F_{\text{осн}}}{F_m} = \frac{1}{\left| 1 - \frac{f^2}{f_0^2} \right|}.$$

Чем меньше КП, тем лучше выполнена виброизоляция.

Применение виброизолирующих устройств без предварительного расчета может привести к резонансу системы, если частоты f и f_0 достаточно близки. При таких соотношениях эффективность виброизоляции будет ничтожна, а при $f = f_0$ (резонанс) виброизолирующее крепление даже увеличивает передачу динамических сил на установочное перекрытие.

Если частота f мала по сравнению с f_0 , то КП будет мало отличаться от единицы, и применение виброизоляторов в этом случае оказывается практически бесполезным, так как при таком соотношении частот возмущение действует на установочную конструкцию как статическая нагрузка.

Если $f \gg f_0$, то система оказывает возмущению инерционное сопротивление, и передача вибраций на установочное перекрытие или на человека будет резко снижаться. Изоляция колебаний виброизолирующим креплением достигает цели при соотношении частот $f/f_0 > \sqrt{2}$. На практике отношение этих частот обычно принимается равным $3 \div 4$, что соответствует значениям

$$\text{КП} = \frac{1}{8} \div \frac{1}{15}.$$

Типы виброизоляторов выбираются в зависимости от диапазона частот вынужденных колебаний.

Резиновые виброизоляторы рекомендуются при частотах выше 12 Гц, пробковые — свыше 20 Гц, металлорезиновые обеспечивают виброизоляцию на низких частотах, начиная с 6 Гц, стальные пружины универсальны (используются при любых частотах).

Эффективность виброзащиты определяют разностью параметров $\Delta L_v = L_{vж} - L_{vв}$, где $L_{vж}$ и $L_{vв}$ соответственно логарифмические уровни виброскорости установки /дБ/ без виброизоляторов и с виброизоляторами, полученные экспериментальным или расчетным путем. При правильно выбранных виброизоляторах полученные уровни виброскорости $L_{vв}$ не превышают допустимые уровни. Обычно эффективность виброизоляции определяют в дБ по формуле $\Delta L = 20 \lg (1/\text{КП})$.

IV. НОРМИРОВАНИЕ ВИБРАЦИИ. ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ ВИБРАЦИИ

Нормирование производственных вибраций производится по двум направлениям: инженерно-техническому и санитарно-гигиеническому.

По действующим нормам амплитуда колебаний фундаментов для низкочастотных машин допускается до 0,2 мм (за амплитуду принимается максимальное отклонение от среднего положения вибрирующего тела, размах колебаний равен двум амплитудам).

Для машин с тяжелыми условиями работы (например, дробилки, $n = 250—300$ об/мин) амплитуда колебаний фундаментов по горизонтали рекомендуется равной 0,3 мм. Для фундаментов под машины ударного действия предельное значение амплитуд свободных колебаний принимается $1,0 \div 1,2$ мм.

Поскольку энергия колебательного процесса возрастает пропорционально квадрату частоты колебаний (или частоты вращения вала механизма), то к быстроходным машинам предъявляются более жесткие требования. Так, амплитуда колебаний подошвы фундамента для особо точного оборудования не должна превышать 0,005 мм.

Гигиенические (санитарные) нормы допустимого воздействия вибраций регламентируют безопасные характеристики вибраций в зависимости от времени действия, направления действия, категории работы и других факторов, определяющих специфику реакции организма; учитывают конкретные условия производства, в которых человек оказывается подверженным действию вибраций. В качестве нормируемых параметров вибраций выбираются такие характеристики колебательного процесса, которые адекватны физиологическим реакциям и изменениям организма (в СССР нормируемым параметром является виброскорость). Гигиеническое нормирование вибрации в соответствии с ГОСТ 12.1.012-78*. *Вибрация. Общие требования безопасности.* производится в диапазоне частот от 1 до 1000 Гц, который включает 11 октавных частотных полос со среднегеометрическими значениями частот 1; 2; 4; 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц. Для каждой октавной полосы устанавливается предельно допустимое значение среднеквадратичной величины виброскорости в $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$ и ее уровня в дБ. Контроль гигиенических нормативов осуществляется в условиях эксплуатации, реально существующих на рабочем месте.

Общая и местная вибрации, как было показано выше, по-разному действуют на организм человека, поэтому для них установлены и различные предельно допустимые значения указанных параметров (см. табл. 1).

Выборка из норм ГОСТ 12.1.012-78*

Вид вибрации	Направления, по кото- рым нормируются вибрации	Среднеквадратичные значения виброскорости, м/с·10 ⁻³ , не более, Логарифм. уровни виброскорости, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц													
		1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000			
Общая вибрация	Транспортная (категория I)	Вертикальная (по оси Z)	20	7,1	2,5	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	—	—	—
		Горизонтальная (по осям X и Y)	132	123	114	108	107	107	107	107	107	107	—	—	—
	Технологическая (на постоянных рабочих ме- стах в производствен. поме- щениях) — категория За.	Вертикальная (по оси Z)	6,3	3,5	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	—	—	—
		или горизонтальная (по осям X и Y)	122	117	116	116	116	116	116	116	116	116	—	—	—
В заводоуправлениях, кон- структорских бюро, лабора- ториях, Уч. пунктах и др. помещ. для работников ум- ствен. труда — категория З.	Те же	Вертикальная (по оси Z)	—	1,3	0,45	0,22	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	—	—	—	
		или горизонтальная (по осям X и Y)	—	108	99	93	92	92	92	92	92	92	—	—	—
Локальная вибрация	По каждой из осей	Вертикальная (по оси Z)	—	0,18	0,063	0,032	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	—	—	—	
		или горизонтальная (по осям X и Y)	—	91	82	76	75	75	75	75	75	—	—	—	
Локальная вибрация	По каждой из осей	Вертикальная (по оси Z)	—	—	—	2,8	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	
		или горизонтальная (по осям X и Y)	—	—	—	115	109	109	109	109	109	109	109	109	

Для общей вибрации они регламентированы по трем осям ортогональной системы координат X , Y , Z , где Z — вертикальная ось, а X и Y — горизонтальные, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 1 до 63 Гц.

Проведенные в нормах допустимые значения параметров общей вибрации предназначены для постоянных рабочих мест в производственных помещениях при непрерывном воздействии на работающих в течение рабочего дня (8 ч). Нормативы имеют одинаковые значения как для горизонтальных, так и вертикальных вибраций. Если продолжительность воздействия вибраций составляет менее 4 ч в течение рабочего дня, то указанные в таблице допустимые значения параметров следует увеличивать в 1,4 раза (на 3 дБ), при воздействии менее 2 ч — в два раза (на 6 дБ) и менее 1 ч — в три раза (на 9 дБ).

Для локальной вибрации значения виброскорости и ее уровней нормируются в октавных полосах в диапазоне частот от 8 до 1000 Гц и сориентированы вдоль осей ортогональной системы координат X_p , Y_p , Z_p , где ось X_p совпадает с осью места охвата (рукоятки, рулевого колеса, ложемента и др.), а ось Z_p лежит в плоскости, образованной X_p и направлением подачи или приложения силы.

Для ручных машин, кроме того, ГОСТ 17770-72 установлены предельные величины силы нажатия (подачи), прикладываемой в процессе работы к ручной машине руками работающего, и массы ручной машины или ее частей, воспринимаемых в процессе работы руками работающего (при продолжительности рабочего дня 5,5 ч).

VI. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИЙ

Если в результате реализации инженерно-технических и организационных мероприятий по снижению вибраций их уровень при эксплуатации машин все же превышает предельно допустимый, то для защиты работающих применяют средства индивидуальной защиты (СИЗ).

Для защиты работающего от воздействия общей вибрации применяют обувь с амортизирующими подошвами. Общие технические требования на специальную виброзащитную обувь введены ГОСТ 12.4.024-76. Такую обувь изготавливают из кожи, искусственных, синтетических, текстильных материалов и комбинированную (из данных материалов). Она предназначена для защиты работающих от воздействия общей производственной вертикальной вибрации при частотах свыше 11 Гц и выпускается в виде сапог, полусапог и полуботинок мужских и женских. Одновременно защитой от вибраций энергией 5 Дж спецобувь защищает ноги рабо-

тающего от нетоксичной пыли и ударов энергией до 50 Дж (сапоги и полусапоги). Применение специальной конструкции подошвы с использованием упругодемпфирующих материалов делает обувь эффективной при виброзащите.

Требования ГОСТ 12.4.002-74 и 12.4.020-82 распространяются на средства индивидуальной защиты рук работающего от воздействия местной вибрации: рукавицы с упругодемпфирующими вкладышами, рукавицы и перчатки с мягкими наладонниками, упругодемпфирующие прокладки и пластины для охвата вибрирующих рукояток и деталей и т. п.

Эффективность этих средств определяется степенью снижения уровня вибрации, передаваемой на руки. Она равна разности уровней (или отношению абсолютных значений) колебательных скоростей при замере без применения средств индивидуальной защиты и с их использованием.

VI. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Исследование вибраций, передаваемых работающим оборудованием на основание, и эффективности виброзащиты пружинных виброизоляторов проводится на учебной установке, схема которой представлена на рис. 2. Она состоит из источника вибраций 1, плиты 2, крепежных устройств 3, стола 4, виброизоляторов 5 и виброметра типа НВА-1. В комплект виброметра входят вибропреобразователь 6, предусилитель 7, прибор измерительный 9 и октавные фильтры 8.

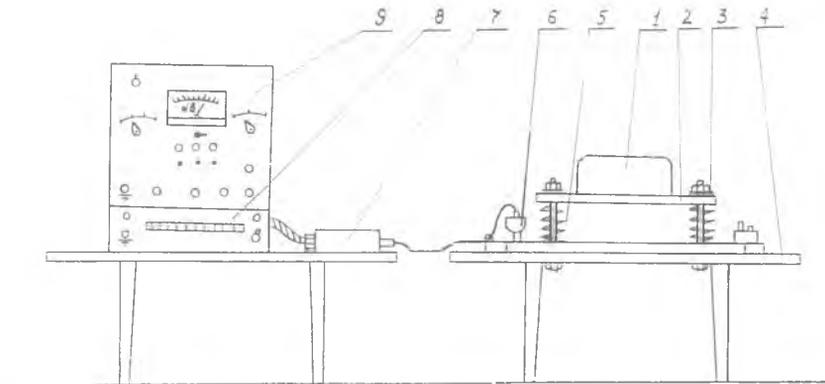


Рис. 2. Лабораторная установка для исследования производственных вибраций

Источник вибрации. В качестве источника вибрации используется неуравновешенный электродвигатель переменного тока мощностью 270 Вт с $n = 1400$ об/мин. Для создания требуемой неуравновешенности на валу электродвигателя устанавливается и закрепляется эксцентрик с определенными значениями дисбалансной массы и регулируемым расстоянием до оси вращения. Для обеспечения безопасности при работе на установке вращающиеся элементы электродвигателя закрыты защитным ограждением. На столе 4 смонтирован блок для пуска и останова электродвигателя.

Низкочастотный вибрметр НВА-1. Виброметр НВА-1 предназначен для измерения среднеквадратичных значений уровней виброскорости в октавных полосах частот и уровней общей вибрации. Аппаратура используется для измерения установившихся процессов вибраций на машинах, механизмах, рабочих местах производственных объектов и т. п.

Соединение отдельных элементов осуществляется с помощью специальных кабелей. Конструктивно вибрметр НВА-1 оформлен в виде прибора настольного типа.

Усилитель предварительный предназначен для согласования высокого выходного сопротивления вибропреобразователя с усилительно-измерительным трактом аппаратуры, усиления сигналов и преобразования их в сигналы, пропорциональные скорости. Он представляет собой усилитель с RC — обратными связями.

Прибор измерительный (рис. 3) служит для усиления электрических сигналов с предусилителя до величины, необходимой для нормальной работы детектора среднеквадратичных значений. Все органы управления расположены на передней панели и имеют соответствующие надписи.

В левой верхней части панели прибора расположен переключатель *уровень обций — октавный 7*, с помощью которого осуществляется подключение октавных фильтров в измерительный тракт аппаратуры.

С помощью переключателя *делитель 1 6* производится ослабление входного сигнала ступенями по 10 дБ; кроме того, в положении *калибровка* осуществляется электрическая калибровка аппаратуры. Гнездо *вход 4* служит для подключения через него к измерительному тракту НВА-1 усилителя предварительного с вибропреобразователем.

Разъем *фильтры октавные 5* служит для соединения усилителя измерительного с блоком фильтров октавных. В центре панели расположен измерительный прибор, шкала которого проградуирована в децибелах (от -10 дБ до $+10$ дБ) с ценой деления 0,5 дБ.

Переключатель *быстро — медленно 9* служит для изменения постоянной времени демпфирования стрелки измерительного прибора при работе на различных частотах.

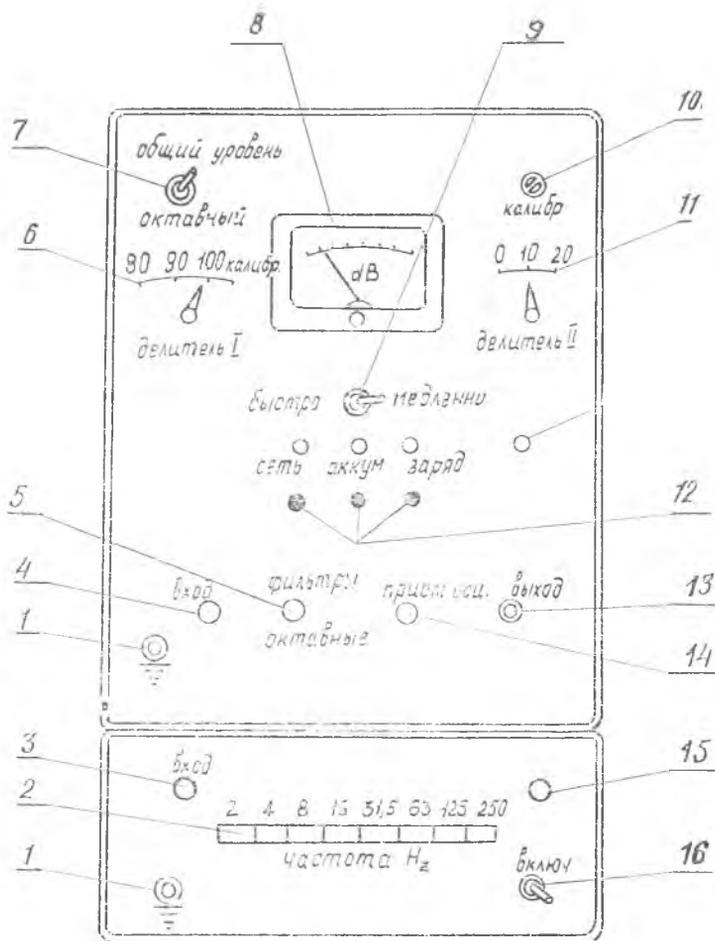


Рис. 3. Низкочастотный вольтметр НВА 1

Три кнопки — *сеть*, *аккумулятор*, *заряд* 12 — предназначены для включения питания аппаратуры соответственно от сети или аккумуляторов; в положении *заряд* производится зарядка аккумуляторов.

В правой части передней панели прибора расположено отверстие с надписью *калибр* 10, позволяющее с помощью переменного сопротивления регулировать коэффициент усиления измерительного тракта при электрической калибровке.

Переключатель *делитель II* 11 позволяет производить ослабление электрических сигналов ступенями по 10 дБ перед поступлением их на выходную усилительную ступень.

Гнездо *выход 13* служит для подключения к измерительному тракту НВА-1 анализирующих или регистрирующих приборов с входным сопротивлением не менее 10 кОм. Разъем *приставка осциллографа 14* позволяет соединять усилитель измерительный с осциллографом.

Фильтры октавные. В левой части передней панели фильтров октавных, выполненных в виде отдельного блока, расположены разъем *вход 3* для подсоединения к усилителю измерительному и клемма *1*, для соединения блока фильтров с землей. В правой части панели расположены сигнальная лампочка *15*, сигнализирующая о включении питания фильтров, и переключатель *16* для включения питания фильтров. По центру панели расположены переключатели *2* октавных полос с надписью *частота Н_г*.

Техническая характеристика НВА-1

Диапазон частот, Гц	от 1,4 до 355
Анализ параметров вибраций в октавных полосах частот со среднеквадратичными частотами, Гц	2; 4; 8; 16; 31,5; 63; 125 и 250
Пределы измерения уровня виброскорости, дБ	от 70 до 130
Погрешность измерения, дБ	±1,4
Питание от сети переменного тока напряжением 220/127 В, Гц	частотой 50
Потребная мощность	не более 25 Вт
Вибропреобразователь пьезоэлектрический	тип Д-19
Чувствительность, мВ · м · с ⁻²	20
Масса преобразователя, кг	0,1

ИНСТРУКЦИЯ ПО РАБОТЕ С НВА-1

Низкочастотная виброизмерительная аппаратура подготавливается к работе в следующей последовательности:

1. Блоки аппаратуры соединяются согласно схеме соединений. Клеммы с обозначением *заземление* должны быть заземлены. При питании от сети необходимо убедиться, что переключатель сети, расположенный на задней стенке панели, находится в положении, соответствующем напряжению сети 220 В.

2. В зависимости от рода питания нажимается кнопка *сеть* или *аккум.* *12*, при этом загорается соответствующая сигнальная лампочка. Переключатель *16*, расположенный на панели фильтров октавных, устанавливается в положение, соответствующее включению питания; при этом сигнальная лампочка *15* загорается.

3. После подключения аппаратуры к сети производится ее электрическая калибровка. Для этого необходимо переключатели

на передней панели усилителя поставить в следующие положения:

уровень — *общий*,

делитель I — *калибр*,

делитель II — *20*,

быстро-медленно—*быстро*.

Через 1—2 минуты стрелка прибора измерительного должна установиться на красную калибровочную риску 8 на шкале прибора. В случае несовпадения стрелка совмещается с этой риской вращением переменного сопротивления, которое выведено под шлиц с обозначением *калибр*. ОПЕРАЦИЯ КАЛИБРОВКИ СТУДЕНТАМИ НЕ ВЫПОЛНЯЕТСЯ.

4. Выполнив вышеуказанное, переключатель *делитель I* переводят из положения *калибр* в положение *100*, переключатель *уровень* устанавливают в положение *общий*. После чего аппаратура готова к работе и можно приступать к проведению измерений.

5. Измерение уровня виброскорости в октавных полосах частот производят следующим образом.

Переключатели на передней панели устанавливают в положение:

уровень — *общий*;

быстро-медленно—*быстро*; положение переключателя *быстро-медленно* определяется целями измерений и видом вибрации. Положение *быстро* предпочтительнее использовать при измерениях ударных вибраций на частотах выше 8 Гц, а положение *медленно* при установившихся вибрациях с частотой ниже 8 Гц;

делитель II — *20*;

делитель I — в положение, при котором стрелка прибора располагается в правой части шкалы (от 0 до +10 дБ).

Если стрелка прибора располагается в левой части шкалы, вывод ее в правую часть осуществляется переключателем *делитель II*. В любом случае стрелка прибора не должна выходить за пределы шкалы.

6. Затем переключатель *уровень* устанавливается в положение *октавный*; переключатель *частота N_z* , расположенный на панели фильтров октавных, устанавливается поочередно в положение 2; 4; 8; 16; 31,5; 63 и т. д.

Установив переключатель *делитель II* в нужное положение, производят отсчет показаний в октавных полосах частот, суммируя показания стрелочного прибора и положений переключателей *делитель I* и *делитель II*.

ВНИМАНИЕ! Включение источника вибрации и виброизмерительной аппаратуры производится только с разрешения преподавателя после проверки им знаний студентов по содержанию данной работы.

VII. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

В процессе выполнения лабораторной работы требуется исследовать производственные вибрации, возникающие при работе неуравновешенного электродвигателя; определить экспериментально виброизолирующую способность установленного крепления и провести расчет пружинных виброизоляторов или добавочной массы, обеспечивающих необходимую эффективность виброзащиты.

Ниже на конкретном примере рассмотрены содержание экспериментального исследования производственных вибраций и методики проведения необходимых расчетов.

Выполнение работы начинается с определения эффективности снижения уровня общих вибраций на рабочем месте с помощью пружин-виброизоляторов экспериментальным путем.

Этот раздел работы выполняется в следующей последовательности.

В протокол испытаний (табл. 2) вносят, используя табл. 1, значения допустимых уровней вибраций $L_{\sigma \Pi}$ в диапазоне частот от 2 до 63 Гц.

Проверяют комплектность исследуемой установки и правильность сборки системы измерений.

Таблица 2

Протокол испытаний

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц		2	4	8	16	31,5	63
Уровни виброскорости, дБ	Допустимые величины производственных вибраций по нормам $L_{\sigma \Pi}$	108	99	93	92	92	92
	Частотная характеристика производственных вибраций при «жестком» закреплении электродвигателя $L_{\sigma \text{ж}}$	105	107	108	109	110	109
	Превышение уровня производственных вибраций над нормами $\Delta L_{\sigma \text{ж}}$	-3	+8	+15	+17	+18	+17
	Частотная характеристика производственных вибраций при установке электродвигателя на виброизоляторы $L_{\sigma \Pi}$	78	86	88	90	91	90
	Эффективность снижения уровня производственных вибраций при использовании виброизоляторов $\Delta L_{\sigma \Pi}$	+27	+21	+20	+19	+19	+20

Получив разрешение преподавателя, включают вилки сетевых шнуров привода электродвигателя и аппаратуры НВА-1 в розетки 220 В.

Устанавливают переключатели на передней панели прибора в положения, указанные в инструкции по работе с НВА-1.

Сжимают пружины-виброизоляторы, осуществляя «жесткую» связь между плитой — основанием стенда и площадкой электродвигателя.

Включают электродвигатель стенда и производят измерения уровня виброскорости при «жестком» креплении двигателя к основанию на частотах 2; 4; 8; 16; 31,5; 63 Гц, записывая положения переключателей и показания на шкале прибора измерительного.

Выключают электродвигатель стенда. Подсчитывают результаты измерения и полученные значения $L_{vж}$ вносят в протокол испытаний. Путем вычитания соответствующих значений определяют превышение уровня производственных вибраций, создаваемых электродвигателем, над нормативными данными — $\Delta L_{vж}$. Полученные результаты вносят в протокол испытаний. Они наглядно показывают требуемую величину ослабления производственной вибрации на рабочем месте в октавных полосах частот.

Освобождают пружины-виброизоляторы площадки электродвигателя, включают электродвигатель стенда и на указанных выше частотах вновь производят измерения уровня виброскорости.

Отключают от электросети источник вибрации и виброизмерительную аппаратуру.

Подсчитывают результаты измерений и полученные значения $L_{vв}$ заносят в протокол испытаний. Затем находят разность между замерами при «жестком» креплении электродвигателя и его установке на пружинах-виброизоляторах — $\Delta L_{vв}$. Полученные значения характеризуют эффективность снижения уровня производственных вибраций на рабочем месте в результате применения виброизоляторов. Их вносят в протокол испытаний.

На основании данных протокола испытаний строят графики (рис. 4): сначала строят нормативную кривую 1, затем кривую 2 уровней виброскорости, полученную экспериментальным методом при «жестком» креплении электродвигателя, после этого наносят значения уровней виброскорости, полученные при установке электродвигателя на пружинах-виброизоляторах — кривая 3.

Результаты эксперимента анализируют и дают заключение об эффективности виброзащиты.

Из рис. 4 видно, что установка электродвигателя на пружинные виброизоляторы приводит к снижению уровня производственных вибраций на рабочем месте во всем диапазоне частот. Кривая 3 располагается ниже допустимых уровней вибраций на рабочих местах, изображенных кривой 1, что свидетельствует о пра-

вильном выборе изоляторов. Если при анализе результатов эксперимента будет установлено превышение уровня производственной вибрации над нормативными величинами хотя бы в одной октавной полосе частот, что является недопустимым, то принимают меры для дальнейшего снижения уровня вибраций. В этих целях можно рекомендовать уменьшить величину собственной частоты колебаний электродвигателя на виброизоляторах либо за счет применения пружин с меньшей жесткостью, либо за счет увеличения массы электродвигателя путем закрепления на установочной плите добавочного груза (массы), например, в виде сменных пластин.

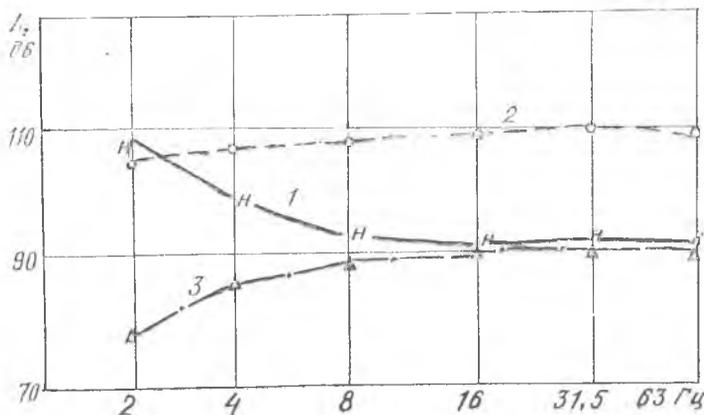


Рис. 4. Результаты исследования производственных вибраций на рабочем месте

Требуемую величину жесткости пружин или добавочной массы определяют расчетом, который ведут следующим образом.

В каждой октавной полосе определяют требуемую величину снижения логарифмического уровня виброскорости

$$\Delta L_{vж} = L_{vж} - L_{vн},$$

где $L_{vж}$ — замеренное значение уровня виброскорости без виброизоляторов (при «жесткой» связи);

$L_{vн}$ — нормативное значение логарифмического уровня виброскорости.

Как правило, величина $\Delta L_{vж}$ берется из протокола испытаний, где она уже подсчитана ранее. Затем определяют требуемое значение коэффициента передачи

$$КП = \frac{1}{\text{antilog} \frac{\Delta L_{vж}}{20}}.$$

При известной вынужденной частоте ($f = n/60$) рассчитывают необходимое значение собственной частоты виброизолированной системы

$$f_0 = \frac{f}{\sqrt{1 + \frac{1}{\text{КП}}}}$$

Определяют потребную статическую осадку системы, м

$$X_{\text{ст}} = \frac{g}{(2\pi f_0)^2}$$

Полученное значение $X_{\text{ст}} = \frac{mg}{n_n q}$ используют для определения характеристик пружины и для расчета добавочной массы.

Расчет пружинного виброизолятора сводится к определению диаметра проволоки пружины d (м) и числа витков i .

Необходимую комплексную жесткость виброизолятора вычисляют по формуле, Н/м

$$q_n = \frac{mg}{n_n X_{\text{ст}}}$$

где m — масса электродвигателя с плитой, кг;

n_n — количество виброизоляторов.

Затем определяют диаметр проволоки пружины виброизолятора, м

$$d = \frac{8 mg D}{\pi R_s}$$

где D — средний диаметр пружины, м;

R_s — допустимое напряжение на кручение (для стали

$$R_s = 4,22 \cdot 10^6 \text{ Па}),$$

и число витков пружины

$$i = \frac{d^4 G}{8 D^3 q_n}$$

где G — модуль сдвига ($G = 7,84 \cdot 10^9$ Па).

Величину добавочной массы находят следующим образом.

Вначале определяют массу электродвигателя с плитой, обеспечивающую потребную статическую осадку

$$m_n = \frac{X_{\text{ст}} \cdot n \cdot q}{g}$$

где q — комплексная жесткость используемого пружинного виброизолятора, Н/м.

Затем находят значение добавочной массы, кг

$$m_d = m_n - m,$$

где m — масса используемого электродвигателя с плитой.

В соответствии с рассмотренной выше методикой исследования производственных вибраций на рабочем месте для выполнения лабораторной работы необходимо:

1. Получить у преподавателя исходные данные для лабораторного исследования.

2. Ознакомиться с ГОСТ 12.1.012-78*. *Вибрация. Общие требования безопасности* и нормируемыми параметрами вибраций на постоянных рабочих местах в производственных помещениях — $L_{\text{тп}}$.

3. Определить экспериментальным путем уровень производственных вибраций при «жестком» закреплении электродвигателя — $L_{\text{вж}}$;

4. Определить превышение уровня производственной вибрации на рабочем месте, создаваемого электродвигателем, над нормативным — $\Delta L_{\text{вж}}$.

5. Определить экспериментальным путем уровень производственной вибрации при установке электродвигателя на виброизоляторах — $L_{\text{вв}}$.

6. Вычислить эффективность снижения уровня вибраций на рабочем месте — $\Delta L_{\text{вв}}$.

7. Построить графики, характеризующие результаты исследования производственных вибраций на рабочем месте.

8. Сформулировать выводы по результатам исследования и рекомендации по уменьшению производственных вибраций, выполнив, в случае необходимости, по заданию преподавателя расчет по определению добавочной массы или расчет пружинного виброизолятора.

VIII. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

1. Исходные данные.
2. Схему лабораторной установки для исследования производственных вибраций на рабочем месте и характеристику применяемой аппаратуры.
3. Расчетные формулы с обозначением их элементов.
4. Протокол испытаний с результатами снижения уровня производственных вибраций на рабочем месте при использовании пружинных виброизоляторов, полученными экспериментальным методом.
5. Графики, характеризующие исследования производственных вибраций на рабочем месте.
6. Выводы по результатам исследования и рекомендации по уменьшению производственных вибраций на рабочем месте.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К РАБОТЕ

1. Определение вибраций, их характеристики по механизму возбуждения и виду колебаний. Параметры вибраций. Виброрезонанс.
2. Вредное воздействие вибрации на механизмы, конструкции, технологические процессы.
3. Вредное влияние вибрации на человека. Местные и общие вибрации.
4. Меры борьбы с вибрациями на этапе проектирования предприятия и конструирования машин.
5. Меры борьбы с вибрациями при отладке технологического процесса и эксплуатации машин.
6. Меры борьбы с вибрациями при работе с ручным вибрирующим инструментом.
7. Нормирование вибраций на рабочих местах и при работе вибрирующим инструментом.
8. Принцип устройства низкочастотной виброизмерительной аппаратуры НВА-1.
9. Подготовка к работе НВА-1.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Охрана труда в машиностроении / Под ред. Е. Я. Юдина, 2-е изд. — М.: Машиностроение, 1983.
2. Алексеев С. П., Казаков А. М., Колстилов Н. Н. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. — М.: Машиностроение, 1970.
3. Гис А. Д. Измерение вибраций. — М.: Наука, 1972.
4. Влияние вибраций на организм человека и проблема виброзащиты. — М.: Наука, 1974.
5. Методические указания к лабораторным работам «Производственная санитария». — Л.: ЛПИ, 1984.
6. Исследование производственных вибраций и расчет виброизоляции: Методическая разработка к выполнению лабораторной работы. — Л.: ЛИАП, 1975.

Составитель *Петр Алексеевич Бодров*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВИБРАЦИЙ
И ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ

Редактор Е. Г. Филиппова
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор В. Т. Борисова

Сдано в набор 18.03.87 г. Подписано в печать 18.05.87 г.
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная. Высокая печать
Усл. п. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,3. Т. 500 экз. Заказ 326.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Типография ЭОЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.