

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ВЫБОР И РАСЧЕТ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ»

3.1. Цель работы

Ознакомление с основными сведениями о вибрации, воздействии вибрации на виброизоляции, конструкцией виброизоляторов, принципом их действия, нормативными требованиями. Приобретение навыков расчета виброизоляторов.

3.2. Общие сведения

Вибрация – механические колебания упругих тел и механических систем, возникающие в результате действия неуравновешенных сил или масс – дисбаланса движущихся и вращающихся частей, ударных воздействий и т.д. Вибрация возникает практически в любой машине или механизме, имеющей подвижные части. Наиболее распространенными источниками вибраций являются:

- возвратно-поступательные движущиеся системы (например, кривошипно-шатунные механизмы, виброинструмент и пр.);
- неуравновешенные вращающиеся массы (например, эксцентрики, кулачковые механизмы и пр.);
- удары из-за наличия зазоров в соединениях, зубчатых и цепных передачах, подшипниках качения.

В строительстве наиболее мощными источниками вибрации является большинство строительных машин, а также компрессоры, насосы, ручной механизированный инструмент и т.д.

3.2.1. Параметры вибрации

подавляющее большинство вибраций имеет периодический характер, поэтому их характеризуют частотой колебаний f , Гц, и амплитудой вибросмещения A , м. Количественные характеристики вибраций – это виброскорость $V = 2\pi \cdot f \cdot A$, м/с, и виброускорение $a = \pi^2 \cdot f^2 \cdot A$, м/с².

На практике абсолютные значения виброскорости и виброускорения изменяются в очень широких пределах (примерно от 10^{-8} до 10^3 м/с для виброскорости), поэтому для удобства выполнения вычислений применяются их логарифмические уровни – логарифмический уровень виброскорости (L_v) и виброускорения (L_a), которые измеряются в децибелах (дБ):

$$L_v = 20 \lg \frac{V}{5 \cdot 10^{-8}}, \text{ дБ} \quad (3.1)$$

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{1 \cdot 10^{-6}}, \text{ дБ} \quad (3.2)$$

где V и a – среднеквадратичные значения виброскорости (м/с) и виброускорения (м/с²);

$5 \cdot 10^{-8}$ – опорное значение виброскорости, м/с;

$1 \cdot 10^{-6}$ – опорное значение виброускорения, м/с².

Опорными называются значения виброскорости и виброускорения, которые ощущаются человеком как вибрация.

Воздействие вибрации на организм человека, а также вопросы измерения и нормирования подробно рассмотрены в [1, 3, 10], а также в 1-й части учебного пособия [2].

3.2.2. Методы защиты от вибрации

Классификация методов защиты от вибрации приведена в ГОСТ [10]. Согласно [10], по отношению к источнику вибрации виброзащита может выполняться снижением параметров вибрации: **в источнике и на путях распространения от источника.**

Методы снижения вибрации **в источнике возникновения** предполагают внесение изменений в конструкцию, режимы работы и другие параметры **самого источника** вибрации. Эти методы применяются при проектировании оборудования и являются предпочтительными. Однако, если снизить значения вибрации в источнике до допустимых значений не удастся, либо вибрация является необходимым компонентом технологического процесса, то применяются методы снижения вибрации **на путях распространения от источника.** Эти методы предполагают использование каких-либо **дополнительных устройств**, предназначенных для целей ослабления вибрации и встраиваемых в конструкцию машин, в строительные конструкции или сооружаемых на путях распространения вибрации. В инженерной практике наиболее часто используются именно эти методы.

При снижении вибрации на путях распространения используются:

1. **Виброизоляция** – это уменьшение уровня вибрации защищаемого объекта путем уменьшения передачи колебаний этому объекту от источника колебаний. Виброизоляция осуществляется посредством введения в колебательную систему дополнительной упругой связи, препятствующей передаче вибраций от источника колебаний (машины, механизма) к основанию или смежным элементам конструкции; эта упругая связь может также использоваться для ослабления передачи вибраций от основания на человека, либо на защищаемый агрегат.

Виброизоляция называется **активной**, если для создания препятствий к передаче вибраций используется дополнительный источник энергии. Пассивная виброизоляция собственного источника энергии не имеет..

2. **Виброгашение** – это уменьшение уровня вибраций защищаемого объекта путем введения в дополнительных реактивных масс,

Чаще всего виброгашение реализуется путем установки агрегатов на самостоятельные фундаменты. Массу фундамента подбирают таким образом, чтобы амплитуда колебаний подошвы фундамента в любом случае не превышала 0,1—0,2 мм, а для особо ответственных сооружений — 0,005 мм. Для небольших объектов между основанием и агрегатом устанавливают массивную опорную плиту.

3. Вибропоглощение – это уменьшение уровня вибраций защищаемого объекта путем превращения энергии колебаний системы в другие виды энергии.

Чаще всего увеличение потерь энергии достигается использованием в конструкции вибрирующих машин и механизмов материалов с большим внутренним трением (резина, пластические массы). При невозможности или нецелесообразности этого способа применяются вибропоглощающие покрытия в виде слоев упруговязких материалов, обладающих большими потерями на внутреннее трение.

В настоящее время наиболее распространенным и эффективным способом борьбы с вибрацией является **пассивная виброизоляция** в сочетании с применением **виброгасящих оснований**. С ее помощью достигается уменьшение передачи динамической силы от машины к основанию, а также уменьшение вибраций, передаваемых от основания к рабочим местам посредством размещения между ними упругих элементов (виброизоляторов или амортизаторов). Установка машин на упругие опоры практически не ослабляет вибрации самой машины, но уменьшает передачу вибраций на поддерживающую конструкцию и, следовательно, уменьшает вибрацию рабочих мест.

3.2.3. Виды и конструкция виброизоляторов

Виброизоляторы делятся на следующие конструктивные типы:

- виброизоляторы из твердых материалов;
- резиновые амортизаторы с деформацией сдвига и сжатия;
- пружинные виброизоляторы;
- пневматические амортизаторы.

Виброизоляторы из твердых материалов работают на чистое сжатие и отличаются самой высокой резонансной частотой из-за небольшого прогиба под нагрузкой. Они довольно дешевы и выдерживают очень большие нагрузки, но могут использоваться только для изоляции на звуковых частотах и демпфирования ударов. На рис.3.1 а) показана схема виброизолятора из твердой резины.

Резиновые амортизаторы с деформацией сдвига и сжатия. В эту категорию входят резиновые или неопреновые виброизоляторы, представляющие собой формованные листы и прокладки, причем под нагрузкой материал этих виброизоляторов свободно выдавливается по бокам или деформируется под действием сдвигающих нагрузок. В зависимости от конструкции такие виброизоляторы могут обеспечивать собственную частоту системы приблизительно до 5 Гц. Они относительно дешевы и пригодны для высоких частот, поэтому применяются и для звукоизоляции, а также во всех тех случаях, когда не требуется учитывать низкие резонансные частоты.

Пружинные виброизоляторы. Являются наиболее распространенным типом виброизоляторов. В качестве пружин чаще всего используются простые спиральные пружины. При правильном сочетании диаметра витка, высоты и

диаметра прутка такие пружины отличаются стабильностью необходимых свойств и могут обеспечивать создание резонансных частот системы порядка 2 Гц. Виброизоляторы этого типа могут работать с очень большим сроком службы. Однако спиральные пружины не обладают вибродемпфирующим эффектом. Для демпфирования в этом случае используются дополнительные средства. Недостатком стальных пружин является также хорошая передача звуковой энергии на высоких частотах, которая проходит по прутку спирали и передается далее конструкциям. Этот недостаток часто устраняется с помощью резиновых прокладок, которые исключают контакт металла с металлом.

На рис.3.1 б) показана схема пружинного виброизолятора. Виброизолятор состоит из цилиндрической пружины 1, к торцевым виткам которой жестко прикреплены штампованные пластины 2. К нижней пластине–основанию, приклеена резиновая прокладка 5 (назначение см. выше). При монтаже под болты нижней пластины устанавливаются стальные шайбы 3 и резиновые прокладки 4. Виброизолятор имеет низкую собственную частоту (2–3 Гц), что позволяет изолировать оборудование с низкими частотами возбуждающих сил с эффективностью до 90%.

Пневматические амортизаторы представляют собой пневматическую подушку, заполненную воздухом, которая действует, как пружина между двумя частями машины или устройства. Путем регулирования давления воздуха в подушке можно существенно изменять её упругие характеристики. Используя пневматические опоры особой конструкции, можно получить собственные частоты системы до 1 Гц.

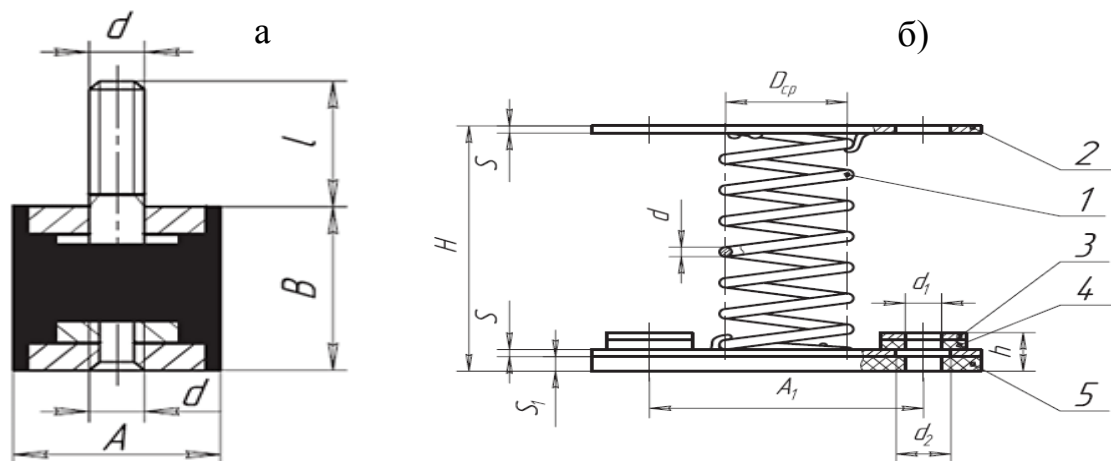


Рис. 3.1. Схемы виброизоляторов:
а) резинового, б) пружинного (позиции в тексте)

3.3. Расчетная часть

3.3.1. Задание по работе

Рассчитать акустическую виброизоляцию центробежного вентилятора, установленного на перекрытии из легкого железобетона ($G = 300 \text{ кг/м}^2$) в здании офиса категории Б (по [12]). Вентилятор динамически отбалансирован.

Исходные данные для выполнения работы согласно номеру варианта, который задает преподаватель, принимают по табл.3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные

Вариант	Частота вращения вентилятора N_v , об/мин	Частота вращения электродвигателя N_z , об/мин	Масса агрегата M_a , кг	Общая масса вращающихся частей $M_{вр.ч., кг}$
1	600	900	1000	250
2	1000	1300	1400	350
3	900	1200	1100	300
4	450	900	900	280
5	1300	1850	800	200
6	800	1300	1200	400
7	1500	3000	1000	250
8	1100	2000	1300	300
9	700	1000	980	200
10	1200	1900	1050	300

3.3.2. Порядок выполнения расчетов

1. Определить эксцентриситет вращающихся частей агрегата ε , м. Для вентиляторов и насосов можно приближенно принимать: $\varepsilon = (0,2 - 0,4) \cdot 10^{-3}$ м – при динамической балансировке; $\varepsilon = (1,5 - 1,8) \cdot 10^{-3}$ – при статической балансировке. Исходя из частоты вращения вентилятора N_v , определяем по табл. 3.2 максимально допустимую амплитуду смещения центра масс агрегата $a_{дон}$, м.

Таблица 3.2

Максимально допустимая амплитуда смещения центра масс агрегата

Частота вращения агрегата, об/мин	200	300	400	500	600	700	900	1200	1500	2000	3000
Максимально допустимая амплитуда смещения центра масс агрегата, $a_{дон}, 10^{-3}$, м	0,22	0,2	0,18	0,16	0,145	0,13	0,11	0,09	0,07	0,06	0,04

2. По табл. 3.3 определить требуемую эффективность акустической виброизоляции ΔL_{mp} , дБ.

3. По графику на рис.3.2 находим допустимую частоту $f_{дон}$ собственных колебаний в вертикальном направлении виброизолируемого агрегата при размещении его на перекрытии из легкого бетона (кривая «в» на рис.3.2)

4. Определяем общую требуемую массу виброизолируемого агрегата по формуле:

$$M_{mp} \geq \frac{2,5 \cdot \varepsilon \cdot M_{вр.ч.}}{a_{дон}}, \text{ кг} \quad (3.3)$$

Таблица 3.3

Требуемая эффективность акустической виброизоляции

Вид инженерного оборудования	Требуемая эффективность акустической виброизоляции ΔL_{mp} , дБ
Центробежные компрессоры	30
Поршневые компрессоры мощностью, кВт	
до 11	17
от 15 до 44	20
от 55 до 110	26
Встроенные трансформаторы	28
Автономные кондиционеры*	20
Центробежные насосы	26
Лифтовые лебедки	24
Крышные котельные*	23
Центробежные вентиляторы с частотой вращения, N, об/мин	
более 800	26
от 500 до 800	20-26
от 350 до 500	17-20
от 200 до 350	11-17

5. Если общая масса агрегата M_a меньше требуемой, необходимо увеличить ее до требуемой, например, частичным или полным заполнением внутреннего объема металлической рамы бетоном, или смонтировать агрегат на общей железобетонной (пригрузочной) плите. Если общая масса больше требуемой, следует принять:

$$M_{mp} = M_a, \text{ кг} \quad (3.4)$$

6. Выбрать тип виброизолятора (пружинный или резиновый). При частотах вращения агрегатов менее 1800 об/мин, предпочтительно применять пружинные виброизоляторы; при частотах вращения 1800 об/мин и более допускается применение также и резиновых виброизоляторов. Стальные виброизоляторы долговечны и надежны в работе, но они недостаточно снижают передачу вибраций высоких частот. Резиновые виброизоляторы эффективно снижают высокие частоты, но они обладают недостаточной виброизоляцией на низких частотах, и, кроме того, недостаточно долговечны.

7. Предварительно выбрать количество виброизоляторов n

8. Определить статическую нагрузку на один виброизолятор P_{cm} , Н, по формуле

$$P_{cm} = \frac{M_{mp} \cdot g}{n}, \text{ Н} \quad (3.5)$$

где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

n – количество виброизоляторов.

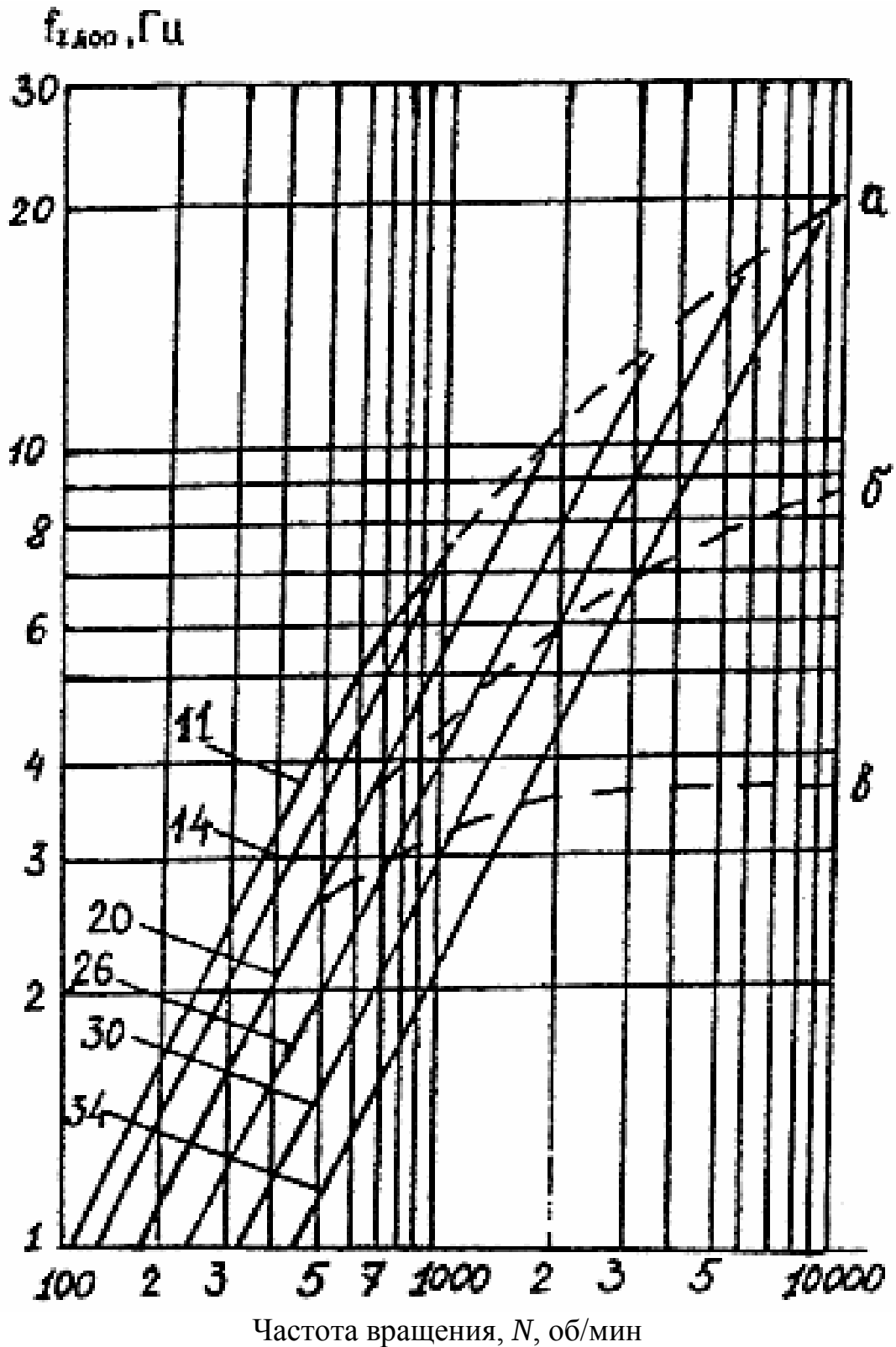


Рис. 3.2. Допустимая частота собственных вертикальных колебаний виброизолированного агрегата

а - подвальные этажи; б - тяжелые железобетонные перекрытия ($G \geq 500 \text{ кг/м}^2$); в - легкие бетонные перекрытия ($500 > G > 200 \text{ кг/м}^2$); (цифры внутри графика указывают требуемую эффективность виброизоляции $\Delta L_{тр}$, дБ).

9. Определить расчетную максимальную нагрузку на один виброизолятор по формуле:

$$P_{ст.расч.} = P_{ст} + 1,5 \frac{4\pi^2 \cdot f \cdot a_{дон}}{10 \cdot g} \cdot P_{ст}, \text{ Н} \quad (3.6)$$

где f – основная расчетная частота вынуждающей силы агрегата, Гц. Определяется по частоте вращения вентилятора N_6 (исходные данные).

10. Определить требуемую суммарную жесткость виброизоляторов в вертикальном направлении K_{zmp} по формуле

$$K_{zmp} = 4 \cdot \pi^2 \cdot f_{здop}^2 \cdot M_{mp}, \text{ Н/м} \quad (3.7)$$

где $f_{здop}$ – допустимая частота собственных колебаний виброизолированного агрегата в вертикальном направлении, определенная по графику на рис.3.2, Гц;

11. Определить требуемую жесткость одного виброизолятора k_{zmp} в вертикальном направлении по формуле:

$$k_{zmp} = \frac{K_{zmp}}{n}, \text{ Н/м} \quad (3.8)$$

12. По нагрузке $P_{max.расч}$ и k_{zmp} пользуясь табл.3.4, выбрать тип виброизолятора и определить для него P_{max} и k_z .

Таблица 3.4

Виброизоляторы ДО

Обозначение	Максимальная рабочая нагрузка, P_{max} , Н	Собственная частота вертикальных колебаний агрегата f , Гц, при P_{max}	Жесткость в вертикальном направлении, k_z , кН/м	Высота h в свободном состоянии, мм	Осадка пружины, мм, под максимальной рабочей нагрузкой P_{max} , Н	$D_{ср}$, мм
ДО38	122	3	4,5	72	27	30
ДО39	219	2,7	6,1	92,5	36	40
ДО40	339	2,5	8,1	113	41,7	50
ДО41	540	2,4	12,4	129	43,4	54
ДО42	942	2,1	16,5	170	57,2	72
ДО43	1648	2,1	29,4	192	56	80
ДО44	2384	1,9	35,7	226	66,5	96
ДО45	3728	1,8	44,2	281	84,5	120

13. Проверить, удовлетворяет ли выбранный тип виброизолятора неравенствам:

$$P_{max} \geq P_{max.расч}, \text{ Н} \quad (3.9)$$

$$k_z \leq k_{zmp}, \text{ Н/м} \quad (3.10)$$

Если эти условия не соблюдаются, выбрать другой тип виброизоляторов.

14. Определить собственную частоту колебаний виброизолированного агрегата в вертикальном направлении по формуле:

$$f_z = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_z \cdot g}{P_{cm}}}, \text{ Гц} \quad (3.11)$$

15. Определяем величину эффективности акустической виброизоляции ΔL по формуле:

$$\Delta L = 20 \lg \left| \frac{f^2}{f_z^2} - 1 \right| > \Delta L_{mp}, \text{ Гц} \quad (3.12)$$

Эффективность виброизоляции должна соответствовать требованиям табл. 3.3.

3.4. Контрольные вопросы

1. Что называется вибрацией? Источники вибрации.
2. Основные параметры вибрации.
3. Укажите методы защиты от вибрации.
4. Виды и конструкция виброизоляторов.