

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КОСТРОМСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»
Кафедра «Безопасность жизнедеятельности и теплоэнергетика»
Производственная безопасность

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практической работе

«РАСЧЕТ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОСНОВАНИЙ»

Составил:
доц. Румянцев С.Н.

Рассмотрена и утверждена
на заседании кафедры
"___" _____ 20___ г.

Каравеево

ДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРАЦИИ

Вибрация — это механические колебания в упругих телах или телах, находящихся под воздействием переменных физических полей с относительно небольшой амплитудой.

В зависимости от параметров (частота, амплитуда) вибрация может как положительно, так и отрицательно влиять на отдельные ткани и организм в целом. Вибрацию используют при лечении некоторых заболеваний, но чаще всего вибрацию (производственную) считают вредно влияющим фактором. Производственная вибрация, характеризующаяся значительной амплитудой и продолжительностью действия, вызывает у работающих раздражительность, бессонницу, головную боль, ноющие боли в руках людей, имеющих дело с вибрирующим инструментом. При длительном воздействии вибрации перестраивается костная ткань: на рентгенограммах можно заметить полосы, похожие на следы перелома — участки наибольшего напряжения, где размягчается костная ткань. Возрастает проницаемость мелких кровеносных сосудов, нарушается нервная регуляция, изменяется чувствительность кожи. При работе с ручным механизированным инструментом может возникнуть акроасфиксия (симптом мертвых пальцев) — потеря чувствительности, побеление пальцев, кистей рук. При воздействии общей вибрации более выражены изменения со стороны центральной нервной системы: появляются головокружения, шум в ушах, ухудшение памяти, нарушение координации движений, вестибулярные расстройства, похудение.

1. МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНОГО ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИИ

В случаях превышения допустимого для человека уровня вибрации следует проводить мероприятия по снижению ее параметров. Вибрация воздействует на работающего через объекты — машины, сооружения или транспортные средства, в которых установлены источники колебаний (электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания, станки и т. д.). Поэтому защитные мероприятия должны охватывать все элементы системы "генератор колебаний — объект — человек".

Если объект подвержен вибрации от периодических сил, то стремятся, прежде всего, уменьшить их в самом источнике. Для этого повышают точность балансировки вращающихся деталей, точность обработки и чистоту поверхности сопрягающихся деталей, применяют взаимно уравновешивающие механизмы, уменьшают значения действующей на вибрирующую деталь силы и частоты вращения, стремятся равномерно распределить нагрузки на роторы машин, увеличивают продолжительность рабочего цикла.

Так как вибрационное возбуждение в источнике полностью устранить не удастся, то возникает необходимость виброзащиты самого объекта. Ее осуществляют следующими методами:

- изменяют конструкцию, в частности смещают основные собственные частоты ее, при которых возможно возникновение резонанса, что достигается увеличением жесткости системы (за счет введения дополнительных ребер жесткости) или ее массы (например, усиление фундамента);

- присоединяют к объекту упругое подвешенное тело — динамический гаситель, воспринимающий вибрацию основного объекта (динамическое гашение вибрации);

- применяют демпфирование, достигаемое как за счет внутреннего поглощения энергии в материале и конструкции (нанесение слоя упруговязких материалов или применение двухслойных материалов типа сталь — алюминий), так и присоединением специальных демпферов (динамическое поглощение);

- между источником возбуждения колебаний и объектом устанавливают упругие элементы — пружины, резинометаллические виброизоляторы, прокладки из резины и т. п. (виброизоляция).

Перечисленные методы виброзащиты относятся к пассивным. Активным методом является искусственное возбуждение вибрации в противоположном направлении с основными колебаниями, возникающими в конструкции, с целью создания эффективного противодействия им. Такое виброгашение имеет смысл при наличии одной фиксированной или подавляющей другие частоте колебаний и строгом соблюдении условия противофазное.

Для индивидуальной защиты от вибрации работающих обеспечивают специальной обувью и перчатками с упругодемпфирующими элементами. Большое профилактическое значение имеют ванночки для рук и ног, массаж, ультрафиолетовое облучение, производственная гимнастика. Снизить вредное влияние вибрации помогает оптимальное чередование периодов труда и отдыха. Время работы, связанной с вибрацией, снижают в процентном отношении к общему времени смены по мере превышения допустимых значений виброскорости в октавных полосах частот относительно санитарных норм. Кроме того, необходимо предусмотреть регламентированные перерывы продолжительностью 20 мин в первой половине смены и 30 мин во второй. Все работающие с виброисточниками должны проходить предварительный и периодические (не реже одного раза в год) медицинские осмотры. Для усиления сопротивляемости организма в отношении вредного действия вибрации работающим дают витамины.

2. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ

Для защиты от вибрации человека-оператора применяются разнообразные средства. На рисунке 1 представлена схема размещения средств виброзащиты оператора, на рисунке 2 дана классификация средств защиты оператора.



Рис. 1. Схема размещения средств виброзащиты



Рис. 2. Средства виброзащиты операторов

Средства коллективной защиты (СКЗ) располагаются между источником вибрации и оператором. К СКЗ оператора относятся подставки, сидения, кабины, рукоятки.

Виброзащитные подставки – наиболее приемлемые средства защиты от общей вибрации при работе стоя. Основной частью подставки является опорная плита, на которой стоит и выполняет работу оператор. Средства виброизоляции могут размещаться сверху плиты, снизу плиты или с обеих сторон одновременно. В зависимости от принятой схемы их взаимного расположения виброзащитные подставки изготавливают с опорными, встроенными, накладными или комбинированными виброизоляторами (рис. 3). На практике применяются различные конструктивные схемы подставок: с резиновыми и пневмобаллонными виброизоляторами (рис. 4), с пружинными виброизоляторами (рис. 5).

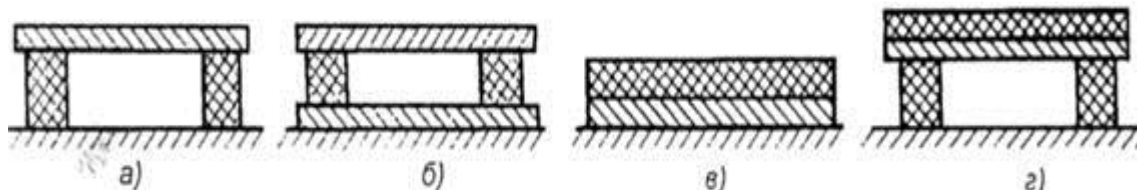


Рис. 3. Схемы виброзащитных подставок для виброизоляторов:
а – опорного; б – встроенного; в – накладного; г – комбинированного

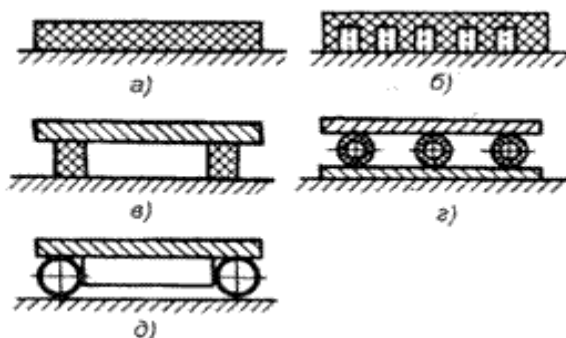


Рис. 4. Виброзащитные подставки с резиновыми и пневмобаллонными виброизоляторами:
а – губчатая резина; б – перфорированная резина; в – резиновые бруски; г – цилиндрические пневмобаллоны; д – кольцевой пневмобаллон

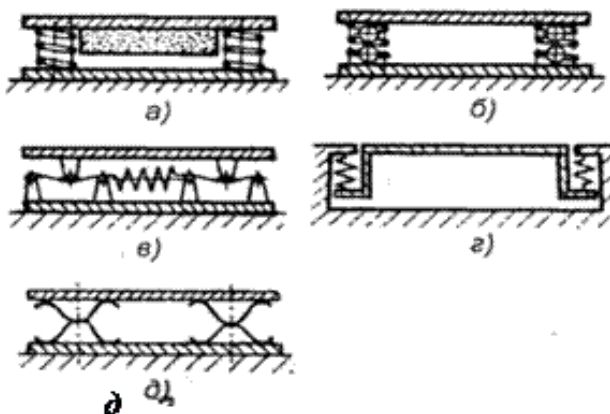


Рис. 5. Виброзащитные подставки с пружинными виброизоляторами: а – пружины сжатия и сыпучий балласт; б – пружины сжатия и шаровые пневмобаллоны; в – пружинно-тросовая система с опорными роликами; г – пружинная подвеска; д – спаренные рессоры

Виброзащитные сидения применяют, если оператор выполняет работу сидя. Подвижные рабочие места, расположенные на транспортных машинах и перемещающихся технологических агрегатах, оснащают сидениями со встроенными средствами виброизоляции. Отдельные конструктивные варианты виброзащитных сидений представлены на рисунке 6.

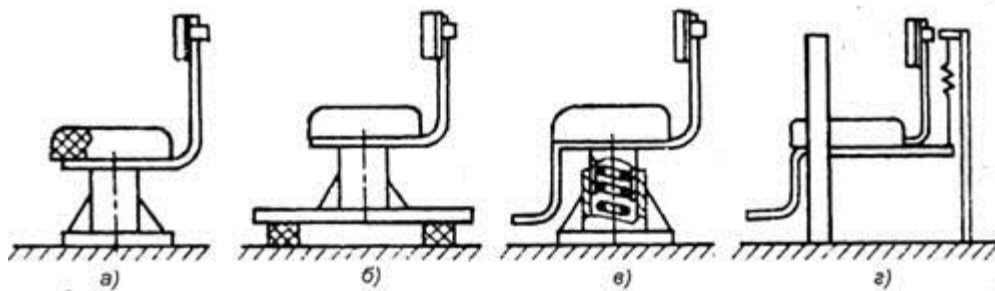


Рис. 6. Виброзащитные сиденья с виброизоляторами:
а – упругая накладка; *б* – упругие опоры; *в* – пружины, встроенные в опору;
г – упругие подвески

Виброзащитные кабины используют в тех случаях, когда на человека-оператора воздействует не только вибрация, но другие негативные факторы: шум, излучения, химические вещества и т. д. Виброзащитная кабина в отличие от обычных кабин, защищающих человека от вредных факторов, устанавливается на виброизолирующих опорах. В зависимости от действующих одновременно с вибрацией вредных факторов виброзащитные кабины могут быть шумовибро-защитными, пылевиброзащитными и т. п. На рисунке 7 представлена одна из таких кабин.

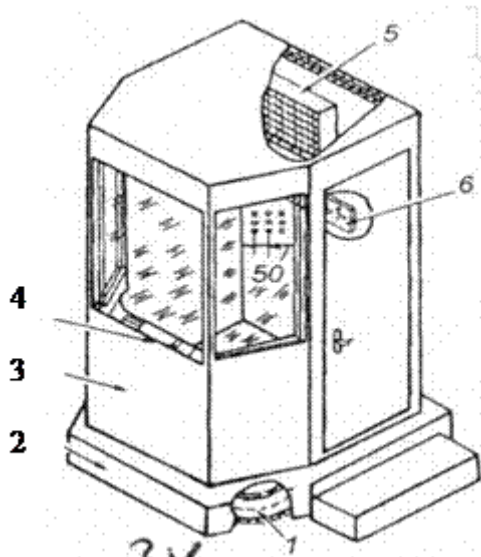


Рис. 7. Шумовиброзащитная кабина для оператора компрессорной станции: 1 – пневматические виброизоляторы; 2 – основание кабины; 3 – корпус кабины; 4 – стол оператора; 5 – кондиционер; 6 – вешалка для одежды.

Виброзащитные рукоятки предназначены для защиты от локальной вибрации рук оператора. Конструктивные схемы виброзащитных рукояток представлены на рисунке 8.

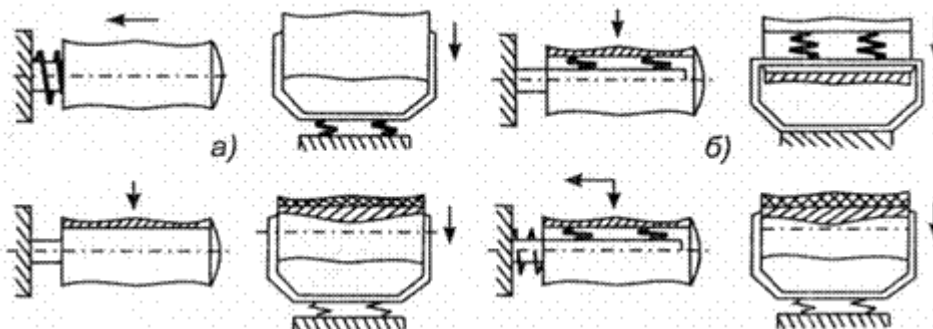


Рис. 8 – Классификация виброзащитных рукояток: *а* – рукоятки с промежуточными виброизоляторами; *б* – рукоятки со встроенными виброизоляторами; *в* – рукоятки с накладными виброизоляторами; *г* – рукоятки с комбинированными виброизоляторами.

По месту расположения виброизоляторов рукоятки классифицируются на:

- рукоятки с промежуточными виброизоляторами, в которых виброизоляторы расположены между корпусом ручной машины и рукояткой, охватываемой рукой оператора (рис. 8 а);
- рукоятки со встроенными виброизоляторами, размещенными непосредственно в теле рукоятки (рис. 8 б);
- рукоятки с накладными виброизоляторами, в которых упругие полимерные накладки и облицовки размещены на наружной поверхности рукоятки и контактируют с руками оператора (рис. 8 в);
- рукоятки с комбинированными виброизоляторами, предусматривающие различные сочетания промежуточных, встроенных и накладных виброизоляторов (рис. 8 г).

В качестве **средств индивидуальной защиты** от вибрации используются: для рук – виброизолирующие рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки; для ног – виброизолирующая обувь, стельки, подметки.

Виброзащитные рукавицы отличаются от обычных рукавиц тем, что на их ладонной части или в накладке закреплен упругодемпфирующий элемент. Этот элемент выполняется из поролона, однако более эффективно использование пеноэласта, губчатой резины. Применяются рукавицы с эластично-трубчатыми элементами (рис. 9). На рукавице имеются трубчатые элементы, закрепленные накладками и расположенные вертикальными рядами параллельно друг другу и перпендикулярно оси рукавицы.

Также рукавицы могут выполняться с накладным карманом, в который вставляется накладка с эластично-трубчатыми элементами (рис. 10) ГОСТ 12.4.002-74.

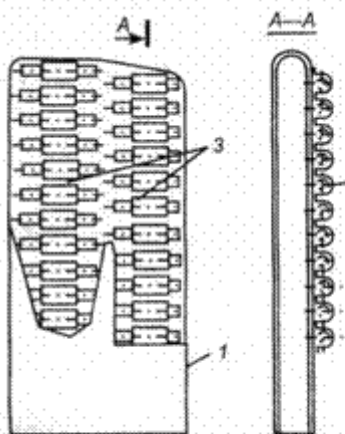


Рис. 9. Виброзащитная рукавица с эластично-трубчатыми элементами: 1 – поверхность рукавицы; 2 – трубчатые элементы; 3 накладки

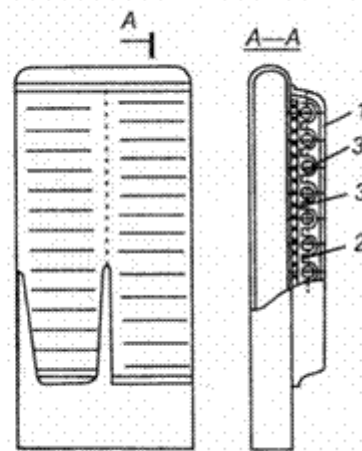


Рис. 10. Рукавицы с накладным карманом: 1 – накладной карман; 2 – накладка; 3 - эластично-трубчатый элемент

Виброзащитная обувь изготавливается в виде сапог, полусапог, полуботинок как мужских, так и женских, и отличается от обычной обуви наличием подошвы или вкладыша из упругодемпфирующего материала (рис. 11). ГОСТ 12.4.024-74 "Виброобувь".



Рис. 11. Виброзащитная обувь: а – на упругой подошве; б – со съёмными упругими каблучками и подметкой; в – с упругой стелькой

3. РАСЧЕТ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОСНОВАНИЙ

Виброизоляторы применяют для уменьшения вибраций, передающихся на несущую конструкцию. Для агрегатов, имеющих частоту вращения менее 1800 мин^{-1} , рекомендуется применять пружинные виброизоляторы (рис. 10.1, а); при частоте вращения агрегатов более 1800 мин^{-1} - резиновые (рис.10.1, б).

Пружинные виброизоляторы долговечны и надежны в работе. Они эффективны при виброизоляции низких частот, но недостаточно снижают передачу вибраций более высоких частот ($16\ 000 \dots 20\ 000 \text{ Гц}$), что обусловлено внутренними резонансами пружинных элементов. Для предотвращения передачи высокочастотных вибраций дополнительно рекомендуется применять резиновые прокладки толщиной $10 \dots 20 \text{ мм}$, располагая их между пружинными виброизоляторами и несущей конструкцией.

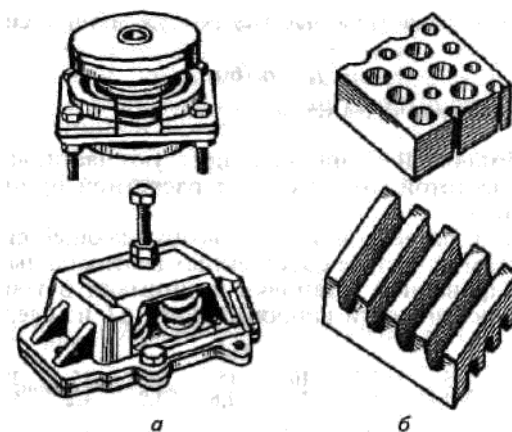


Рис. 12. Виброизолирующие опоры:
а— пружинные; б— резиновые

Виброизоляторы размещают в четырех точках по углам прямоугольника. При необходимости устанавливают дополнительные виброизоляторы симметрично относительно центра тяжести установки. Дополнительные виброизоляторы рекомендуется располагать в центральных точках прямых, соединяющих два угловых виброизолятора. Допускается применять кустовые виброизоляторы (от двух до шести в кусте).

4.1. РАСЧЕТ ПРУЖИННЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ

Сначала определяют расчетную частоту вращения n_p и требуемую эффективность виброизоляции ΔL_m (табл. 1).

Таблица 1. Эффективность виброизоляции различного оборудования

Вид оборудования	Значения ΔL_m .
Поршневые компрессоры мощностью, кВт;	
до 15	17
от 20 до 60	20
от 75 до 150	26
Центробежные насосы	26
Автономные кондиционеры	20

Вентиляторы с частотой вращения, мин⁻¹:

более 800	26
500..800	20...26
350.. .500	17...20
200...350	11...17

Далее находят расчетную частоту возбуждающей силы, Гц,

$$f_{\varepsilon} = n_y / 60$$

где n_y — частота вращения частей установки, мин⁻¹.

Если в работающей установке существуют части, вращающиеся с различной частотой, то в качестве расчетной принимают наименьшую из них.

Отношение C расчетной частоты возбуждающей силы f_{ε} к предельно допустимой частоте собственных вертикальных колебаний $f_{\text{од}}$ виброизолированной установки принимают в зависимости от требуемой эффективности виброизоляции ΔL_m из следующих значений:

ΔL , дБ	5	7.5	10	15	20	25	30	35
$C = f_{\varepsilon} / f_{\text{од}}$	1,65	1,8	2	2,6	3,3	4,2	5,4	7

По выбранному значению параметра C определяют предельно допустимую частоту, Гц,

$$f_{\text{од}} = f_{\varepsilon} / C.$$

Требуемую общую массу, кг, виброизолированной установки рассчитывают по формуле

$$m_m \geq 2,5\varepsilon m_{\varepsilon} / A_{\text{д}}$$

где ε — эксцентриситет вращающихся частей, мм; m_{ε} — масса вращающихся с частотой n_y частей установки, кг; $A_{\text{д}}$ — максимально допустимая амплитуда смещения центра тяжести установки, мм.

Если величины ε и $A_{\text{д}}$ неизвестны, то, например, для вентиляционной установки можно приближенно принять $\varepsilon_{\text{д}} = 0,2...0,4$ мм при динамической балансировке и $\varepsilon_{\text{с}} = 1...1,5$ мм при статической балансировке. Максимально допустимую амплитуду смещения $A_{\text{д}}$ центра тяжести установки принимают из следующих значений:

Частота вращения n_y , мин ⁻¹ .	300	400	500	600	700	900	1200	1500	3000
$A_{\text{д}}$, мм	0,2	0,18	0,16	0,145	0,13	0,11	0,09	0,07	0,04

Далее вычисляют суммарную массу, кг, установки с рамой

$$m_0 = m_y + m_p$$

где m_y — масса установки, кг; m_p — масса рамы. кг.

При этом должно соблюдаться условие

$$m_0 \geq m_m$$

Если суммарная масса установки m_o (например, вентилятора с электродвигателем и рамой) меньше требуемой массы m_0 , то необходимо увеличить ее, частично или полностью заполнив внутренний объем рамы железобетоном или смонтировав установку на общей железобетонной плите.

Определяют статическую P_c и расчетную максимальную $P_{p \max}$ нагрузки на одну пружину, Н:

$$P_c = \frac{9,81m_o}{n_e x};$$

$$P_{p \max} = P_c + \frac{\pi^2 f_e^2 A_d P_c}{1635} = P_c + 0,006 f_e^2 A_d P_c$$

где n_e , — число виброизоляторов; x — число пружин в одном виброизоляторе.

Требуемую суммарную жесткость, Н/м, виброизоляторов в вертикальном направлении рассчитывают по формуле

$$\sum K_e = 4\pi^2 f_{od}^2 m_o = 39,48 f_{od}^2 m_o$$

Требуемая жесткость, Н/м, одной пружины в продольном направлении

$$K_{mp} = \frac{\sum K_e}{n_e x}$$

Марку применяемых в виброизоляторах опорных пружин выбирают с соблюдением условий:

$$P_{m \max} \geq P_{p \max}; \quad K_m \leq K_{mp}$$

где $P_{m \max}$ — максимальная рабочая нагрузка на пружину, Н (табл. 2); K_m — жесткость пружин в продольном направлении, Н/м (табл. 2).

Таблица 2. Параметры типовых значений опорных пружин

Параметр	Марка пружины							
	ДО-38	ДО-39	ДО-40	ДО-41	ДО-42	ДО-43	ДО-44	ДО-45
Максимальная рабочая нагрузка на пружину, Н	120	220	340	550	960	1680	2430	3300
Собственная частота вертикальных колебаний при максимальной рабочей нагрузке, Гц	3	2,7	2,5	2,4	2,1	2,1	1,9	1,8
Жесткость пружины в продольном направлении, Н/м	0,46	0,62	0,83	1,26	1,68	3,0	3,64	4,5

Параметр	Марка пружины							
	ДО-38	ДО-39	ДО-40	ДО-41	ДО-42	ДО-43	ДО-44	ДО-45
Диаметр проволоки, мм	3	4	5	6	8	10	12	15
Диаметр пружины, мм	30	40	50	54	72	80	96	120
Высота пружины в ненагруженном состоянии, мм	65	84	100	114	152	171	202	245
Число рабочих витков	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Полная высота пружины в ненагруженном состоянии, мм	68	88	107	123	164	186	220	275
Шаг ненагруженной пружины, мм	10	13	17	18	24	27	32	40

4.2. РАСЧЕТ РЕЗИНОВЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ

Начало расчета резиновых виброизоляторов аналогично расчету пружинных виброизоляторов. После определения массы установки вычисляют площадь поперечного сечения всех виброизоляторов, м²:

$$F_{\sigma} = 9,81m_0 / \sigma$$

где m_0 — общая масса установки, кг; σ — расчетное статическое напряжение в резине: для мягкой резины (1...3) 10^5 Н/м², для резины с большей твердостью (3,1...5) 10^5 Н/м².

Рабочую высоту, м, каждого виброизолятора находят по выражению

$$H_p = \frac{EF_{\sigma}}{\sum K_{\sigma}}$$

где E — динамический модуль упругости резины. Па; $\sum K_{\sigma}$ — требуемая суммарная жесткость виброизоляторов (см. с. 8).

Модуль упругости резины можно выбрать в зависимости от ее твердости по Шору:

Твердость резины (по Шору)	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Динамический модуль упругости $E \cdot 10^5$, Па	15	20	30	40	50	60	71	85	100

Площадь поперечного сечения одного виброизолятора, м².

$$F_1 = F_{\sigma} / n_{\sigma}$$

где n_{σ} — число виброизоляторов.

Далее для виброизолятора призматической формы находят сторону квадрата, м,

$$B = \sqrt{F_1}$$

а для виброизолятора цилиндрической формы — диаметр, м,

$$D = \sqrt{4F_1 / \pi}$$

Для обеспечения устойчивости виброизоляции необходимо, чтобы соблюдалось условие $1,5H_p \leq B \leq 8H_p$ или $1,5H_p \leq D \leq 8H_p$. Если это условие не выполняется, необходимо или взять резину другой твердости, или принять другое число изоляторов, или увеличить площадь их поперечного сечения, или выбрать пружинные виброизоляторы.

Полную высоту, м, виброизолятора определяют по формуле

$$H = H_p + 0,125 B$$

или

$$H = H_p + 0,125 D$$

После уточнения размеров виброизоляторов следует проверить обеспечиваемую эффективность виброизоляции, дБА

$$\Delta L_y = 20 \lg \left(\frac{f_g^2}{f_o^2} - 1 \right),$$

где $f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sum K_{в.у}}{m_{о.у}}}$ — уточненная частота собственных вертикальных колебаний, Гц;

$\sum K_{в.у} = \frac{EF_{в.у}}{H_p}$ - уточненная общая жесткость всех виброизоляторов, Н/м;

$F_{в.у}$ — уточненная площадь поперечного сечения всех виброизоляторов, м²; $m_{о.у}$ — уточненная масса виброизолированной установки, кг. Если общая масса установки $m_{о.у} > m_{т}$, то $T_{о.у} = m_{о.у}$.

Полученное значение ΔL_y должно быть близко к выбранному ΔL или меньше его.

Расчет пружинного виброизоляторов

В помещении установлен центробежный вентилятор серии Ц 4-70 №8. Частота вращения колеса вентилятора и вала электродвигателя одинаковые и составляют _____ мин⁻¹.

Масса вентилятора с электродвигателем и рамой $m_o =$ _____ кг., масса вращающихся частей установки $m_e =$ _____ кг.

Рассчитать параметры требуемого виброизолятора.

Варианты задания

Вариант	Частота вращения вентилятора, мин ⁻¹	Масса вентилятора и рамы, кг	Масса вращающихся частей установки, кг	Вариант	Частота вращения вентилятора, мин ⁻¹	Масса вентилятора и рамы, кг	Масса вращающихся частей установки, кг
1	900	350	70	8	1250	470	70
2	960	376	72	9	1300	480	72
3	1000	390	74	10	1320	500	74
4	1050	410	76	11	1400	520	76
5	1100	430	78	12	1450	550	78
6	1150	450	80	13	1500	575	80
7	1200	465	82	14	1550	590	82

Расчет резиновых виброизоляторов

В отделении мастерской установлен стационарный поршневой компрессор общей массой m_o _____ кг с приводом от электродвигателя мощностью _____ кВт и частотой вращения _____ мин⁻¹. Частота вращения коленчатого вала компрессора составляет _____ мин⁻¹.

Масса вращающихся частей m_e _____ кг. Определить параметры виброизолятора и эффективность виброизоляции. Принять динамический модуль упругости резины $E = 25 \cdot 10^5$ Па.

вариант	Масса компрессора, кг	Мощность электродвигателя, кВт	Частота вращения электродвигателя, мин ⁻¹	Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	Масса вращающихся частей, кг
1	264	4	1450	1950	34
2	102	1,5	920	1800	15
3	152	1,5	1100	2000	17
4	356	8	1450	1700	51
5	548	16	1100	1500	58
6	215	3	1450	1950	31
7	181	3	1500	2100	29
8	264	4	1450	1950	34
9	102	2	920	1800	15
10	152	1,5	1300	2000	17
11	356	10	1450	1700	51
12	548	16	1100	1500	58
13	215	4	1450	1950	31
14	181	3	1500	2100	29

Характеристика резин, используемых для виброизоляторов

Марка резины	Динамический модуль упругости $1 \cdot 10^5$, Па	Марка Резины	Динамический модуль Упругости $1 \cdot 10^5$, Па
2566	38	122	206
8508	126	9831	166
4326	226	3826	236
4068	166	2542	314
199	196	3311	250
56	72	2959	63

Упругие свойства виброизолирующих материалов

Материал	$E \cdot 10^5$, Н/м ²	$\sigma \cdot 10^5$, Н/м ²	E/ σ
Резина марки 112А	43	1,17	25
Резиновые ребристые плиты	49	0,98	50
Резина средней мягкости	200...250	3...4	64
Резина мягкая	50	0,80	63
Войлок мягкий	20	0,25	80
Резина губчатая	30	0,30	100