

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ.Р.Е.АЛЕКСЕЕВА  
КАФЕДРА "ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ И  
ХИМИЯ"

## **Расчет пружинных виброизоляторов**

*Методические указания  
по выполнению практических работ по курсу “БЖД”  
для студентов всех направлений и форм обучения*



Нижегород 2020

Составители: **О.В.Маслеева, И.Г.Трунова, Н.С.Конюхова**

**УДК 658.382.3:378**

**Расчет пружинных виброизоляторов:** метод. указания к практическим работам по курсу "БЖД" для студентов всех направлений и форм обучения / НГТУ им.Р.Е.Алексеева; сост.: О.В.Маслеева, И.Г.Трунова, Н.С.Конюхова. – Нижний Новгород, 2020г. - 15с.

# 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Изучить источники вибрации, параметры вибрации, определение допустимых значений,
- изучить принцип действия пружинных виброизоляторов,
- сделать расчёт пружинных виброизоляторов.

## 2 КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

### 2.1. Физические характеристики вибрации

Вибрация — это механические колебания, передаваемые по жидким или твердым средам от источника переменного физического поля.

Причинами возникновения вибрации являются неуравновешенные силовые воздействия, источниками которых служат:

- возвратно-поступательные движущиеся системы (кривошипно-шатунные механизмы, вибротрамбовки и др.);
- неуравновешенные вращающиеся массы (ручные электрические шлифовальные машины),
- электромагнитные колебания (силовой трансформатор).

В отдельных случаях вибрации могут создаваться также ударами деталей (зубчатые зацепления, подшипниковые узлы).

Неуравновешенные силы появляются в результате дисбаланса, причиной которого может быть неоднородность материала вращающегося тела, несовпадение центра массы тела и оси вращения и др.

Физические параметры вибрации:

а) частота, Гц.;

б) амплитуда виброперемещения – наибольшее отклонение точки в процессе колебания от равновесия ( $x$ , мм);

Для гармонических колебаний величина отклонения колеблющейся точки от положения равновесия определяется по формуле:

$$x = x_m * \sin(\omega * t + \varphi) \quad (1)$$

где  $x_m$  - амплитуда виброперемещения;

$\varphi$  - начальная фаза колебаний в момент времени  $t = 0$ ;

$\omega$  - круговая частота,  $\omega = 2\pi f$ ;

$f$  - частота колебаний, Гц.

в) виброскорость - первая производная по времени от виброперемещения ( $V$ , м/с);

$$V = V_m * \cos(\omega * t + \varphi) \quad (2)$$

где  $V_m$ , - максимальное значение виброскорости колеблющейся точки.

г) виброускорение - вторая производная по времени от виброперемещения ( $a$ , м/с<sup>2</sup>),

$$a = -a_m * \sin(\omega * t + \varphi) \quad 3$$

$a_m$  - максимальные значения виброускорения колеблющейся точки

д) логарифмический уровень виброскорости ( $L_v$ , дБ)

$$L_v = 20 \lg \frac{V}{V_0} \quad (3)$$

где  $V$  - средние квадратичное значения виброскорости (м/с);

$V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$  - опорное значение виброскорости, м/с;

## 2.2 Воздействие вибрации на человека

Характер функциональных сдвигов в организме определяются уровнем вибрации, спектральным составом и продолжительностью воздействия. Степень распространения колебаний по телу зависит от их частоты, амплитуды, площади участков тела, соприкасающихся с вибрирующим объектом, места приложения и направления оси вибрационного воздействия, демпфирующих свойств тканей, явления резонанса и др. условий. При низких частотах вибрация распространяется по телу с малым затуханием, охватывая колебательным движением все туловище и голову.

Местная вибрация малой интенсивности может оказывать благоприятное воздействие на организм человека, восстанавливая трофические изменения, улучшая функциональное состояние центральной нервной системы, ускоряя заживление ран и т. п.

Вибрация приводит к профессиональному заболеванию - виброболезни.

Низкочастотные вибрации приводят к развитию вибрационной патологии с превалированием поражений нервно-мышечной системы и опорно-двигательного аппарата. Среднечастотная вибрация вызывает различные по степени выраженности сосудистые, нервно-мышечные, костно-суставные нарушения. Высокочастотная вибрация вызывает в основном сосудистые нарушения.

## 2.3 Нормирование вибрации

Нормирование вибрации производится по СН 2.2.4/2.1.8.566-96. «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

### Классификация вибраций, воздействующих на человека.

По способу передачи на человека различают:

- общую вибрацию, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека;
- локальную вибрацию, передающуюся через руки человека.

По источнику возникновения общая вибрация подразделяется на:

- 1 категория - транспортная вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах транспортных средств (тракторы, сельскохозяйственные машины; автомобили грузовые; снегоочистители);
- 2 категория - транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по поверхностям производственных помещений (экскаваторы, краны, бетоноукладчики, напольный производственный транспорт);
- 3 категория - технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах стационарных машин (станки, кузнечно-прессовое оборудование, литейные машины, насосные агрегаты и вентиляторы).

Таблица 1

### Допустимые величины нормируемых параметров вибрации рабочих мест

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения виброскорости, дБ							
	Локальная	транспортная		Транспортно-технологическая	технологическая			жилых помещениях и общественных зданиях
		Z <sub>0</sub>	X <sub>0</sub> , Y <sub>0</sub>		типа «а»	типа «б»	типа «в»	
1,0		132	122					
2,0		123	117	117	108	100	91	84
4,0		114	116	108	99	91	82	79
8,0	115	108	116	102	93	85	76	75
16,0	109	107	116	101	92	84	75	75
31,5	109	107	116	101	92	84	75	75
63,0	109	107	116	101	92	84	75	75
125	109							
250	109							
500	109							
1000	109							

Общую вибрацию категории 3 по месту действия подразделяют на:

- 3 а) на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий;

3 б) на рабочих местах на складах, в столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещений, где нет машин, генерирующих вибрацию;

3 в) на рабочих местах в помещениях заводоуправления, конструкторских бюро, вычислительных центров, конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников умственного труда;

- общую вибрацию в жилых помещениях и общественных зданиях.

Нормируются следующие параметры: логарифмические уровни виброскорости ( $L_v$ ), измеряемые в октавных полосах частот.

## 2.4. Системы защиты от вибрации

**Снижение вибрации в источнике** - уменьшение возмущающей силы. Это достигается путем проведения статической и динамической балансировки вращающихся частей машины, замены подшипников качения на подшипники скольжения; применения конструкционных материалов с повышенным внутренним трением. Применение специальных видов зацепления и чистоты поверхности шестерен позволяет снизить уровень вибрации на 3-4 дБ.

**Отстройка от режимов резонанса** достигается либо изменением характеристик системы (массы и жесткости) и соответственно собственной частоты колебаний машины, либо изменением угловой скорости и соответственно частоты возмущающей силы. Жесткостные характеристики системы изменяются введением в конструкцию ребер жесткости или изменением ее упругих характеристик.

**Вибродемпфирование** - это процесс уменьшения уровня вибраций защищаемого объекта путем превращения энергии механических колебаний системы в тепловую энергию.

Увеличение потерь энергии в системе может быть достигнуто:

- использованием конструктивных материалов с большим внутренним трением (использование в качестве конструктивных материалов: пластмассы, дерева, резины);
- нанесением слоя упруговязких материалов, обладающих большими потерями на внутреннее трение. В качестве жестких покрытий используются вязкоупругие материалы (твердые пластмассы, битуминизированный войлок, различные полимерные смеси). В качестве мягких - мягкие пластмассы, материалы типа резины, пенопласты, поливинилхлоридные пластики).

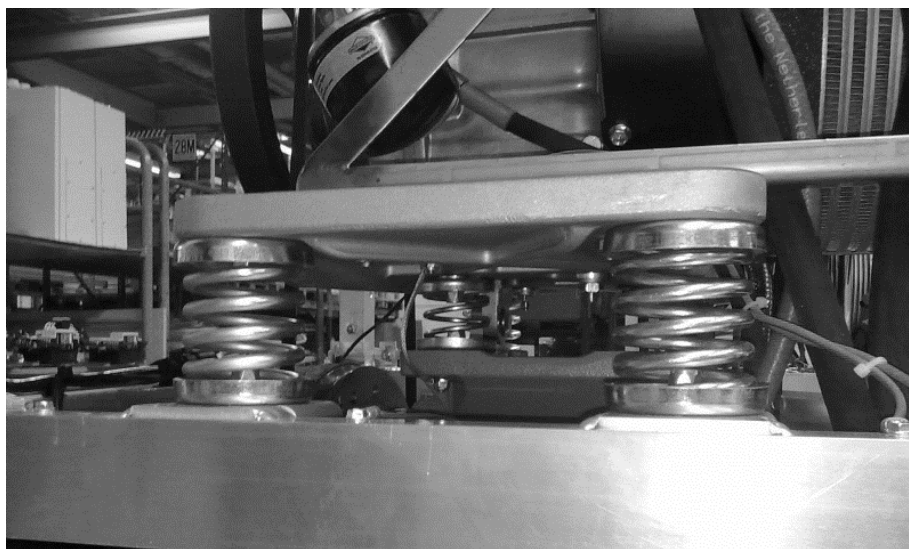
**Виброгашение** осуществляют путем установки агрегатов на массивный фундамент. Виброгашение наиболее эффективно при средних и высоких частотах вибрации. Этот способ нашел широкое применение

при установке тяжелого оборудования (молотов, прессов, вентиляторов, насосов и т. п.).

**Виброизоляция** - это уменьшение уровня вибрации защищаемого объекта путем уменьшения передачи колебаний от источника колебаний к объекту. Виброизоляция осуществляется посредством введения в колебательную систему дополнительной упругой связи, препятствующей передаче вибраций от источника колебаний к основанию, на котором находится человек.

Виброизоляция достигается путем установки агрегатов на специальные упругие устройства, обладающие малой жесткостью.

В качестве виброизоляторов используют упругие материалы: металлические пружины (рис.1), резину, пробку (толщина 2 - 15см), войлок (толщина 1 - 2,5 см) и пр. Выбор материала определяется величиной требуемого статического прогиба и условиями эксплуатации (температура, химически агрессивная среда и пр.).



**Рис.1 Пружинные виброизоляторы**

Пружинные по сравнению с резиновыми имеют ряд преимуществ. Они могут применяться для изоляции как низких, так и высоких частот, дольше сохраняют постоянство упругих свойств во времени, хорошо противостоят действию масел и высокой температуры, относительно малогабаритны. Однако металлические пружины имеют тот недостаток, что будучи спроектированы на низкую частоту, они пропускают более высокие.

Резина имеет малую плотность, хорошо крепится к деталям, ей легко придать любую форму и она обычно используется для виброизоляции машин малой и средней массы (электродвигателей и т.п.). В виброизоляторах резина работает на сдвиг и (или) сжатие.

Эффективность виброизоляции оценивается коэффициентом передачи, который имеет физический смысл отношения силы, действующей на основание при наличии упругой связи, к силе, действующей при жесткой связи. Чем это отношение меньше, тем лучше виброизоляция. Хорошая виброизоляция достигается при  $K_n = 1/8 - 1/15$ .

Коэффициент передачи может быть рассчитан по формуле:

$$K_n = \frac{1}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1} \quad (5)$$

где  $f$  – частота возмущающей силы;

$f_0$  – собственная частота системы на виброизоляторах.

Оптимальное соотношение  $f/f_0 = 3 - 4$ .

При применении виброизоляции уровень виброскорости снизится на величину  $\Delta L$ :

$$\Delta L = 20 \cdot \lg \frac{1}{K_n} \quad (6)$$

### 3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРУЖИННОГО АМОРТИЗАТОРА

Пружинные амортизаторы целесообразно использовать для виброизоляции при сравнительно низкой частоте менее 33Гц и значительной амплитуде колебаний системы, а также при наличии высоких температур, масел, паров щелочей и кислот. В качестве пружинных амортизаторов чаще всего применяются стальные витые пружины, изготавливаемые из прутка круглого сечения.

Исходные данные при проектировании виброизоляции рабочего места в случае гармонических вибрации основания:

- диапазон частот колебаний электродвигателя,
- значения виброскорости источника на каждой частоте,
- допустимые значения по СН 2.2.4/2.1.8.566-96,
- масса электродвигателя.

Расчет виброизоляции рабочего места ведется в следующей последовательности.

1. Находим допустимое значение  $L_{доп}$  по табл. 1
2. Находим необходимое снижение уровня виброскорости:

$$\Delta L = L - L_{доп} \quad (7)$$

3 Определяем значение коэффициента передачи виброизоляции



$$K_{\Pi} = \frac{1}{10^{\Delta L/20}} \quad (8)$$

4. Находим значение собственной частоты

$$f_0 = \frac{f}{\sqrt{\frac{1}{K_{\Pi}} + 1}} \quad (9)$$

5. Находим статическую осадку ( $X_{ст}$ , м):

$$X_{ст} = \frac{g}{(2 \cdot \pi \cdot f_0)^2} \quad (10)$$

6. Вычисляем суммарную жесткость виброизолятора ( $q_0$ ) в вертикальном направлении:

$$q_0 = \frac{M \cdot g}{X_{ст}} \quad (10)$$

где  $M$  – масса электродвигателя, кг.

6. Определяем вертикальную жесткость  $q_1$  одного виброизолятора:

$$q_1 = \frac{q_0}{n} \quad (11)$$

где  $n$  – число виброизоляторов (выбираем исходя из требований обеспечения устойчивости опорной плиты, обычно  $n = 4$  или  $6$ ).

7. Находим расчетную нагрузку на одну пружину:

$$P_1 = \frac{M \cdot g}{n} \quad (12)$$

8. Определяем геометрические размеры пружинных виброизоляторов:

а) диаметр прутка пружины

$$d = 1.6 \sqrt{\frac{k \cdot P_1 \cdot C}{[\tau]}} \quad (13)$$

где  $C$  – индекс пружины,

$$C = D / d \quad (14)$$

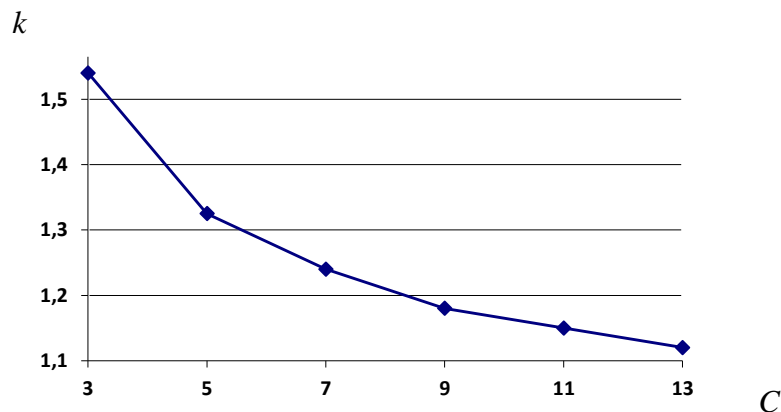
$C$  принимаем равным от 4 до 10,

$D$  – диаметр пружины, м.

$d$ - диаметр прутка, м,

$[\tau]$ - допускаемое напряжение сдвига при кручении, Н/м<sup>2</sup> (табл. 4);

$k$  – коэффициент деформации пружины (рис.1);



**Рис. 1. Определение коэффициента деформации пружины**

Округлить диаметр прутка до ближайшего значения (табл.2).

**Таблица 2**

**Диаметр прутка пружин**

d, мм	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5
	2,8	3,0	3,5	4,0	5,0				

б) диаметр пружины:

$$D = C \cdot d; \quad (15)$$

Округлить диаметр пружины до ближайшего значения (табл.3).

**Таблица 3**

**Диаметр пружин**

$D$ , мм	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	20	21	22	24	25	26
	28	30	32	34	36	38	40	42	45
	48	50	52	55	60	63	65		

в) число рабочих витков

$$i_1 = \frac{G \cdot d}{8 \cdot q_1 \cdot C^3} \quad (16)$$

где  $G$  – модуль сдвига для стали (определяется по табл. 4);

г) полное число витков пружины:

$$i_{\Sigma} = i_1 + i_2 \quad (17)$$

где  $i_2$  – нерабочее число витков пружины,  
 $i_2 = 1,5$  при  $i_1$  меньше 7 и  $i_2 = 2$  при  $i_1 \geq 7$ ;

д) шаг витка

$$h = 0,25 \cdot D; \quad (18)$$

е) высота ненагруженной пружины

$$H_0 = i_1 \cdot h + (i_2 - 0,5) \cdot d. \quad (18)$$

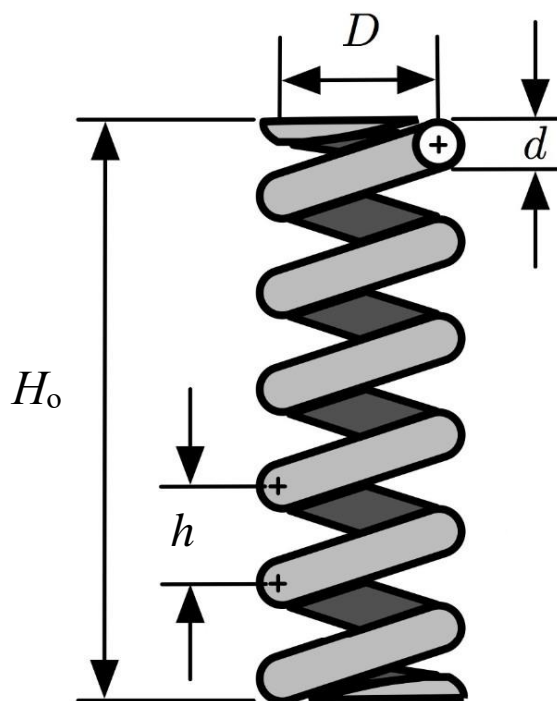


Рис.2 Чертеж пружины

При расчете пружин, работающих на сжатие, отношение высоты нагруженной пружины к ее диаметру должно быть не более двух  $H_0 \leq 2 D$ . В противном случае возникнет опасность потери устойчивости виброизолированной системой.

Таблица 4

Допускаемые напряжения для пружинных сталей

Сталь		Модуль сдвига $G, \text{Н/м}^2 \cdot 10^{10}$	Допускаемые напряжения [ $\tau$ ], $\text{Н/м}^2 \cdot 10^8$	Диаметр прутка
Группа	Марка			
Углеродистая	70	7.83	3.73	$\leq 8$ мм
Хромованадиевая	50ХФА	7.7	4.90	$\geq 12.5$ мм
Кремнистая	55 С 2	7.45	4.41	$\geq 10$ мм

### 3 ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

По своему варианту (табл.7) рассчитать пружинные виброизоляторы для уменьшения вибрации до допустимой величины. Источник вибрации – двигатель. Результаты расчета оформить в виде табл. 6.

### 4 ПРИМЕР РАСЧЕТА

Таблица 5

Исходные данные для расчета

Вариант	Уровни вибрации установки, дБ, на частотах, Гц						Масса установки, кг
	10	15	20	25	30	35	
	112	100					100

Пример расчета выполнен для двух частот.

#### 1 Частота $f = 10$ Гц

Для технологической вибрации типа 3а и  $f = 10$  Гц по табл. 1 допустимое значение

$$L_{\text{доп}} = 93 \text{ дБ}$$

Находим необходимое снижение уровня виброскорости:

$$\Delta L = L - L_{\text{доп}} = 112 - 93 = 19 \text{ дБ}$$

Определяем значение коэффициента передачи виброизоляции.

$$K_{\text{п}} = \frac{1}{10^{\Delta L/20}} = \frac{1}{10^{19/20}} = 0,112$$

#### 2 Частота $f = 15$ Гц

$$L_{\text{доп}} = 92 \text{ дБ}$$

$$\Delta L = L - L_{\text{доп}} = 100 - 92 = 8 \text{ дБ}$$

$$K_{\text{п}} = \frac{1}{10^{\Delta L/20}} = \frac{1}{10^{8/20}} = 0,4$$

3 Находим минимальное значение  $K_{\text{п}}$

$$K_{\text{п мин}} = 0,112$$

4 Находим значение собственной частоты

$$f_0 = \frac{f}{\sqrt{\frac{1}{K_{\pi}} + 1}} = \frac{10}{\sqrt{\frac{1}{0,112} + 1}} = 3,18$$

5. Находим статическую осадку ( $X_{ст}$ , м):

$$X_{ст} = \frac{g}{(2 \cdot \pi \cdot f_0)^2} = \frac{9,81}{(2 \cdot \pi \cdot 3,18)^2} = 0,0247 \text{ м}$$

6. Вычисляем суммарную жесткость виброизоляторов ( $q_0$ ) в вертикальном направлении:

$$q_0 = \frac{M \cdot g}{X_{ст}} = \frac{100 \cdot 9,81}{0,0247} = 39781$$

где  $M$  – масса электродвигателя, кг.

7. Определяем вертикальную жесткость  $q_1$  одного виброизолятора:

$$q_1 = \frac{q_0}{n} = \frac{39781}{4} = 9945$$

где  $n$  - число виброизоляторов (выбираем  $n = 4$ ).

8. Находим расчетную нагрузку на одну пружину:

$$P_1 = \frac{M \cdot g}{n} = \frac{100 \cdot 9,81}{4} = 245$$

9. Определяем геометрические размеры пружинных виброизоляторов:

а) диаметр прутка пружины

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{k \cdot P_1 \cdot C}{[\tau]}} = 1,6 \sqrt{\frac{1,24 \cdot 245 \cdot 7}{3,73 \cdot 10^8}} = 0,00333$$

$C = 7$  принимаем,

$[\tau] = 3,73 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$  для углеродистой стали (табл. 2);

$k = 1,24$  (рис.1).

Принимаем по табл.2 диаметр прутка пружины  $d = 0,0035 \text{ м}$

б) диаметр пружины:

$$D = C \cdot d = 7 \cdot 0,0035 = 0,0245 \text{ м};$$

Принимаем по табл.3 диаметр пружины  $D=0,025$  м.

в) число рабочих витков

$$i_1 = \frac{G \cdot d}{8 \cdot q_1 \cdot C^3} = \frac{7,83 \cdot 10^{10} \cdot 0,0035}{8 \cdot 9945 \cdot 7^3} = 10$$

где  $G = 7,83 \cdot 10^{10}$  модуль сдвига для стали (определяется по табл. 2);

г) полное число витков пружины:

$$i_{\Sigma} = i_1 + i_2 = 10 + 2 = 12$$

$$i_2 = 2 \text{ при } i_1 \text{ больше } 7$$

д) шаг витка

$$h = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 0,025 = 0,00625 \text{ м};$$

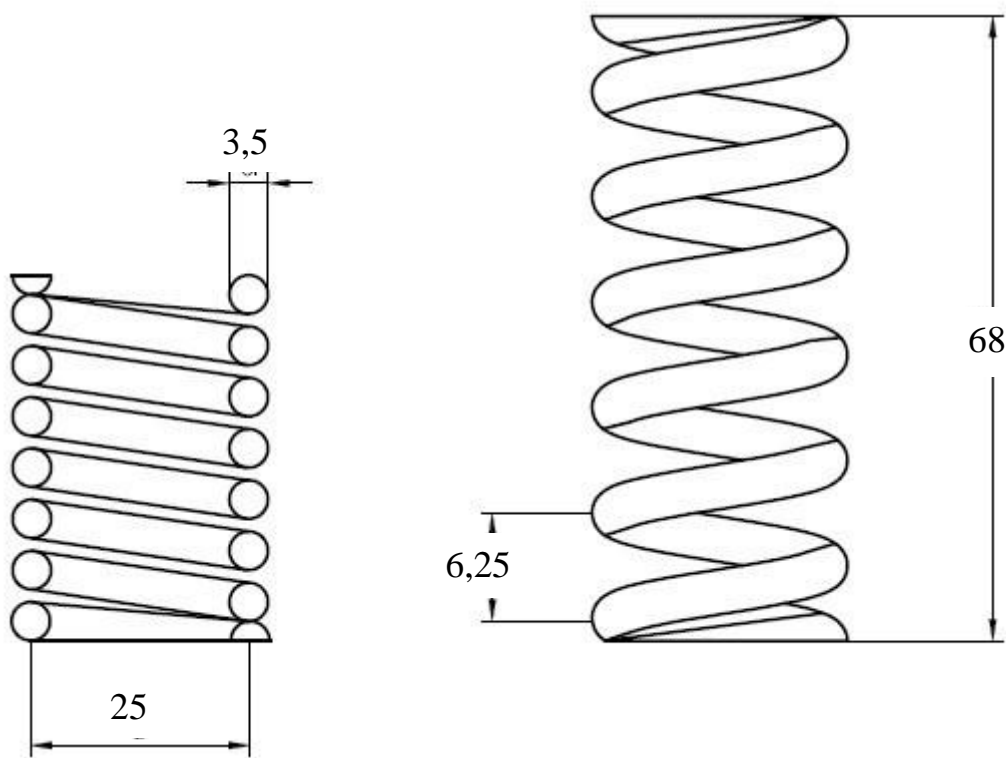
е) высота ненагруженной пружины

$$H_0 = i_1 \cdot h + (i_2 - 0,5) \cdot d = 10 \cdot 0,00625 + (2 - 0,5) \cdot 0,0035 = 0,068$$

**Таблица 6**

**Результаты расчета**

Частота	$f$ , Гц	10	15	20	25	30	35
Уровень вибрации установки	$L$ , дБ	112	100				
Допустимое значение	$L_{\text{доп}}$ , дБ	93	92				
Необходимое снижение уровня виброскорости	$\Delta L$ , дБ	19	8				
Коэффициент передачи виброизоляции	$K_{\text{п}}$	0,112	0,4				
Минимальное значение $K_{\text{п}}$	$K_{\text{п мин}}$	0,112					
Собственная частота	$f_0$ , Гц	3,18					
Статическая осадка	$X_{\text{ст}}$ , м	0,0247					
Суммарная жесткость виброизоляторов	$q_0$	39781					
Число виброизоляторов	$n$	4					
Жесткость одного виброизолятора	$q_1$	9945					
Расчетная нагрузка на одну пружину	$P_1$	245					
Диаметр прутка пружины	$d$ , мм	3,5					
Диаметр пружины	$D$ , мм	25					
Полное число витков пружины	$i_{\Sigma}$	12					
Шаг витка	$h$ , мм	6,25					
Высота ненагруженной пружины	$H_0$ , м	0,068					



**Рис.3 Чертеж пружины по расчету**

## **6 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Вибрации в технике: Справочник.- т. 31/ Под ред. Ф.М.Дименейберга и К.С.Колесникова.- М.: Машиностроение, 1980.-544с.
- 2 Вибрация энергетических машин. Справочное пособие./Под ред. Н.В.Григорьева.- Л.: Машиностроение, 1974.-464с.
- 3 Колесников К.А. Шум и вибрация. Ленинград, Судостроение, 1988, 246с.
- 4 Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. Алексеев С.П., Казаков А.М., Колотилов Н.Н. – М., Машиностроение, 1970, 208с.

## Варианты заданий

Вариант	Уровни вибрации установки, дБ, на частотах, Гц						Масса установки, кг
	10	15	20	25	30	35	
1	112	117	117	119	114	113	10
2	118	116	121	116	117	114	15
3	118	1222	117	118	117	116	20
4	121	122	123	124	123	111	25
5	118	117	120	119	119	116	30
6	114	112	124	121	114	114	35
7	117	122	114	117	118	114	40
8	123	118	115	119	114	117	45
9	119	116	124	118	117	121	50
10	118	116	114	114	114	113	55
11	113	122	124	125	121	114	60
12	116	117	116	121	112	111	62
13	119	121	119	120	120	117	64
14	116	124	124	123	119	115	61
15	118	121	123	116	120	113	59
16	114	115	117	122	116	117	54
17	116	114	115	118	113	100	52
18	115	117	117	110	115	101	49
19	110	116	118	114	110	100	47
20	116	115	115	117	121	120	43
21	118	114	116	117	121	114	39
22	114	115	117	121	115	114	37
23	114	119	116	118	122	118	33
24	116	117	118	111	125	122	31
25	121	115	113	115	119	113	27
26	116	116	115	111	122	111	23
27	116	118	117	119	121	119	19
28	116	117	115	119	111	111	17
29	116	123	123	114	121	108	11
30	124	128	125	116	117	105	14