

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ 2

Проектування гумових амортизаторів

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ГУМОВИХ ВІБРОІЗОЛЯТОРІВ

Згідно з розрахунками повинні бути вибрані марка гуми та основні розміри гумового віброізолятора. Метою розрахунку є визначення висоти віброізоляторів та їхніх поперечних розмірів – діаметра циліндра або сторони квадрата.

Слід врахувати, що гума – це матеріал, який зберігає свій об'єм при різних видах навантаження, тому конструктивне виконання віброізолятора повинне передбачати розширення гуми у поперечному напрямку. При інших умовах жорсткість гумового амортизатора буде значно вищою, ніж це необхідно.

Визначається площа поперечного перетину всіх віброізоляторів S та робоча висота кожного H_p за формулами:

$$S = \frac{P}{\sigma}, \text{ м}^2 \quad (5.16)$$

$$H_p = \frac{E \cdot S}{K_{ZH}}, \text{ м} \quad (5.17)$$

де P – загальна вага віброізолюваної установки, Н;

σ – розрахункове статичне напруження в гумі, Н/м²;

E – динамічний модуль пружності гуми з натурального каучуку.

Характеристика гуми для віброізоляторів наводиться в табл. 5.6.

Визначається площа поперечного перетину одного віброізолятора.

$$s = \frac{S}{n}, \text{ м}^2 \quad (5.18)$$

де n – число віброізоляторів.

Якщо застосовується кущовий віброізолятор, то

$$s = \frac{S}{m \cdot n}, \text{ м}^2 \quad (5.19)$$

де n – число віброізоляторів;

m – число гумових стовпчиків у кущі.

Визначається поперечний перетин одного віброізолятора:

- для циліндричного стовпчика – діаметр d

$$d = \sqrt{4S/\pi}, \text{ м}$$

- для призматичного стовпчика – сторона квадрата

$$\delta = \sqrt{S}, \text{ м}$$

З метою дотримання умов стійкості необхідно, щоб

$$1,5 \cdot N_p \leq d \leq 8 \cdot N_p \quad (5.20)$$

$$1,5 \cdot N_p \leq \delta \leq 8 \cdot N_p \quad (5.21)$$

Таблиця 5.6 – Характеристика гуми для віброізоляторів

Марка гуми	Модуль пружності, $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$		Коефіцієнт непружного опору, γ
	динамічний E_d	статичний $E_{ст}$	
1	2	3	4
ИРП-1347	54	33	0,09
2566	38	24	0,11
СУ-363	153	51	0,15
8508	126	31	0,15
4326	226	60	0,16
Н068	166	39	0,17
199	196	40	0,208
122	206	73	0,21
9831	166	36	0,25

1	2	3	4
3826	236	46	0,30
2542Н	314	46,5	0,32
3311	250	16	0,038
2959	63	30	0,14
56	72	37	0,16

Якщо ця умова не виконується, необхідно взяти гуму з іншою жорсткістю або відмовитись від гумових віброізоляторів і вибрати пружинні.

Визначається повна висота віброізоляторів:

$$H = N_p + \frac{1}{8} \cdot d, \quad \text{м} \quad (5.22)$$

$$H = N_p + \frac{1}{8} \cdot \delta, \quad \text{м} \quad (5.23)$$

Після уточнення розмірів віброізоляторів та марки гуми слід перевірити ефективність віброізоляції

$$\Delta L = 20 \lg \left(\frac{f^2}{f_0^2} - 1 \right), \text{дБ} \quad (5.24)$$

де f – частота змушувальної сили, Гц;

f_0 – частота власних вертикальних коливань, Гц.

$$f_z = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_z \cdot g}{P}}, \quad \text{Гц} \quad (5.25)$$

$$K_z = \frac{E \cdot S}{H_p}, \quad \text{Н/м} \quad (5.26)$$

де K_z – загальна жорсткість всіх віброізоляторів, Н/м;

S – загальна площа поперечного перетину всіх віброізоляторів, м²;

E – динамічний модуль потужності гуми, Н/м²;

H_p – робоча висота віброізоляторів, м;

P – вага віброізольованої установки, Н.

Отримане значення ΔL повинне бути не меншим, ніж наведене в табл.5.1.

Приклад 1

Розрахунок гумових амортизаторів. Необхідно розрахувати гумові прокладки під вентилятор з швидкістю обертання вентилятора – 3000 хв⁻¹ (50 Гц), з'єднаний клинопасовою передачею з електродвигуном (швидкість обертання електродвигуна 970 хв⁻¹). Вага всієї установки 33300 Н. Вентилятор встановлений на важкому залізобетонному перекритті.

$$S = \frac{P}{\sigma} = \frac{33300}{33 \cdot 10^5} = 0.01, \text{ м}^2$$

$$H_p = \frac{54 \cdot 100000 \cdot 0.01}{1834587} = 0.029, \text{ м} \quad (5.17)$$

Необхідна загальна жорсткість віброізоляторів:

$$K_{ZH} = 43.14^2 \cdot 3.7^2 \cdot \frac{33300}{9.81} = 1834587$$

$$s = \frac{0.01}{4} = 0.0025, \text{ м}^2$$

$$\delta = \sqrt{s} = \sqrt{0.0025} = 0.05, \quad \text{м}$$

Визначаємо умови стійкості віброізолятора:

$$1.5 \cdot 0.029 = 0.0435 \leq 0.05 \quad (5.21)$$

$$H = 0.029 + \frac{1}{8} \cdot 0.05 = 0.0352, \quad \text{м} \quad (5.23)$$

Перевіряємо ефективність:

$$\Delta L = 20 \lg \left(\frac{50^2}{3.72^2} - 1 \right) = 45.08, \text{ дБ} \quad (5.24)$$

де f – частота змушувальної сили, Гц;

f_0 – частота власних вертикальних коливань, Гц.

$$f_z = \frac{1}{2 * 3.14} \sqrt{\frac{1862069 * 9.81}{33300}} = 3.72, \quad \text{Гц} \quad (5.25)$$

$$K_z = \frac{54 * 100000 * 0.01}{0.029} = 1862069, \quad \text{Н/м} \quad (5.26)$$

Завдання 1

Розрахунок гумових амортизаторів. Необхідно розрахувати гумові прокладки під вентилятор з швидкістю обертання вентилятора – 960 хв^{-1} (16 Гц), з'єднаний клинопасовою передачею з електродвигуном (швидкість обертання електродвигуна 960 хв^{-1}). Вага всієї установки 3760 Н. Вентилятор встановлений на важкому залізобетонному перекритті.

Практичне завдання 3

Проектування пружинних амортизаторів

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПРУЖИННИХ ВІБРОІЗОЛЯТОРІВ

1. Визначення загальної жорсткості віброізоляторів.

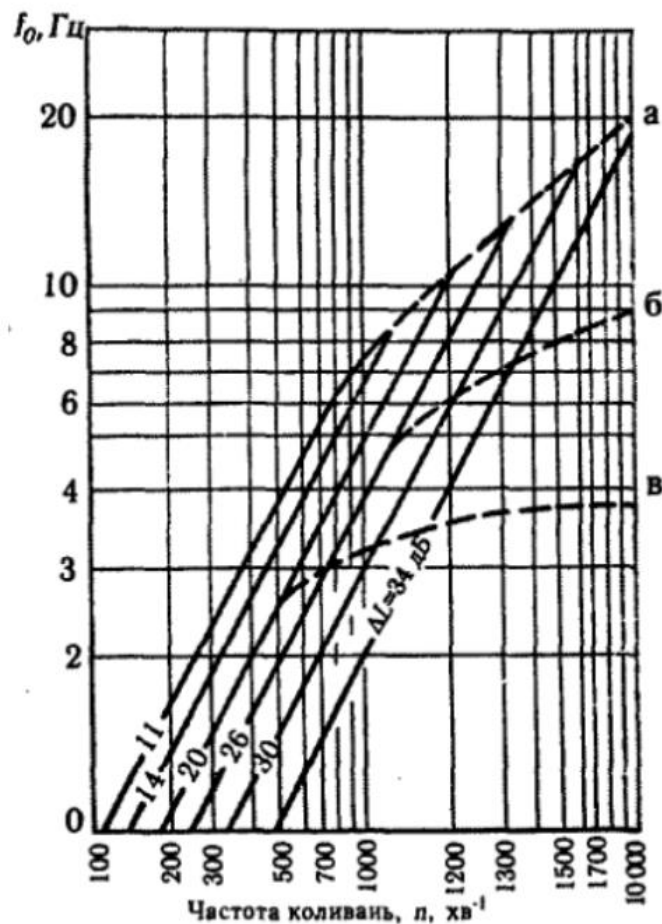
Визначається основна розрахункова частота змушуючої сили:

$$f = \frac{N}{60} \quad (5.5)$$

де N – швидкість обертання обертових частин установки, хв^{-1} .

Якщо в установці є частини, які обертаються з різною частотою, за розрахункову швидкість приймається найменша.

За графіком, наведеним на рис. 5.4, залежно від необхідної ефективності віброізоляції ΔL_n , що визначається за табл. 5.2, і за розрахунковою швидкістю обертання установки, визначається гранично допустима частота власних вертикальних коливань $f_{z \text{ доп}}$ віброізольованої установки, Гц.



а – для підвальних поверхів; б – для залізобетонних міжповерхових перекриттів; в – для легких бетонних перекриттів

Рисунок 5.4 – Визначення допустимої частоти власних вертикальних коливань віброізолюваної установки

Таблиця 5.2 – Значення необхідної ефективності віброізоляції

Необхідна ефективність віброізоляції

Обладнання	Необхідна ефективність віброізоляції
1	2
1. Відцентрові компресори	34
2. Поршневі компресори потужністю, кВт:	
— до 10	17
— від 10 до 50	20
— від 50 до 100	26
3. Відцентрові насоси	26
4. Вентилятори з числом обертів, хв ⁻¹ :	
— більше 800	26
— від 500 до 800	20—26
— від 350 до 500	17—20
— від 200 до 350	11—17

При високих значеннях N гранично допустима частота власних коливань установки $f_{\text{доп}}$ не повинна перевищувати значень, обмежених пунктирними лініями для відповідних типів перекриттів.

Розраховується необхідна маса M_H віброізолюваної установки:

$$M_H \geq \frac{2,5 \cdot \varepsilon \cdot m_{\text{об.д.}}}{a_{\text{доп}}} \quad (5.6)$$

де ε – ексцентриситет обертових деталей, мм;

$m_{\text{об.д.}}$ – маса (вага) деталей, що обертаються зі швидкістю N , кг (Н);

$a_{\text{доп}}$ – максимально допустима амплітуда зміщення центру ваги установки, мм, наближено береться за даними табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Допустима амплітуда зміщення

Швидкість обертання, хв ⁻¹	300	400	500	600	700	900	1200	1500	2000
Допустима амплітуда зміщення, мм	0,2	0,18	0,16	0,145	0,13	0,11	0,09	0,07	0,04

2. У випадку, коли вибрано пружинні віброізолятори, що працюють на стиснення, їх слід вибирати керуючись табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Основні параметри опорних пружин

Величина	Одиниця вимірювання	Відношення середнього діаметра пружин до діаметра дроту							
		7		8		9		10	
		4,5	5,5	4,5	5,5	4,5	5,5	4,5	5,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Діаметр дроту 5 мм</i>									
Максимальне робоче навантаження на пружину P_{max}	<i>H</i>	4,6	4,6	4,1	5,1	3,8	3,8	3,2	3,2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Власна частота вертикальних коливань установки при максимальному навантаженні f_{zmax}	Гц	4,2	3,9	3,7	3,3	3,1	2,9	2,9	2,6
Жорсткість пружини в поздовжньому напрямку K_z	Н/м	$3,3 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$	$9 \cdot 10^3$
Діаметр пружини D	мм	35	35	40	40	45	45	50	50
Висота пружини в ненавантаженому стані H	мм	70	70	80	80	90	90	100	100
Повна висота пружини в ненавантаженому стані H_0	мм	75	75	85	85	95	95	105	105
Крок ненавантаженої пружини S	мм	15,6	12,7	17,8	14,5	20	16,4	22,5	18,3
Повна довжина дроту l	мм	660	770	755	880	850	990	945	1100
<i>Діаметр дроту 6 мм</i>									
Максимальне робоче навантаження на пружину P_{max}	Н	6,6	6,6	6,0	6,0	5,5	5,5	4,9	4,9
Власна частота вертикальних коливань установки при максимальному навантаженні f_{zmax}	Гц	3,9	3,5	3,3	3,0	2,9	2,6	2,7	2,4
Жорсткість пружини в поздовжньому напрямку K_z	Н/м	$4 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$
Діаметр пружини D	мм	42	42	48	48	54	54	60	60
Висота пружини в ненавантаженому стані H	мм	84	84	96	96	108	108	120	120
Повна висота пружини в ненавантаженому стані H_0	мм	90	90	102	102	114	114	126	126
Крок ненавантаженої пружини S	мм	18,7	15,3	21,4	17,4	24	19,6	26,7	21,8
Повна довжина дроту l	мм	795	925	905	1060	1020	1990	1135	1320

<i>Діаметр дроту 7 мм</i>									
Максимальне робоче навантаження на пружину P_{max}	Н	900	900	820	820	740	740	655	655
Власна частота вертикальних коливань установки при максимальному навантаженні f_{zmax}	Гц	3,6	3,2	3,1	2,8	2,7	2,5	2,4	2,2
Жорсткість пружини в поздовжньому напрямку K_z	Н/м	$4,6 \cdot 10^4$	$3,8 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^4$	$2,6 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$
Діаметр пружини D	мм	49	49	56	56	63	63	70	70

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Висота пружини в ненавантаженому стані H	мм	98	98	112	112	126	126	140	140
Повна висота пружини в ненавантаженому стані H_0	мм	105	105	119	119	133	133	147	147
Крок ненавантаженої пружини S	мм	21,8	17,8	24,9	20,4	28,0	23,0	31,1	25,4
Повна довжина дроту l	мм	925	1080	1060	1230	1190	1390	1320	1540
<i>Діаметр дроту 8 мм</i>									
Максимальне робоче навантаження на пружину P_{max}	Н	1185	1185	1070	1070	965	965	830	830
Власна частота вертикальних коливань установки при максимальному навантаженні f_{zmax}	Гц	3,3	3,0	2,9	2,6	2,5	2,3	2,9	2,1
Жорсткість пружини в поздовжньому напрямку K_z	Н/м	$5,3 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$
Діаметр пружини D	мм	56	56	64	64	72	72	80	80
Висота пружини в ненавантаженому стані H	мм	112	112	128	128	144	144	160	160
Повна висота пружини в ненавантаженому стані H_0	мм	120	120	136	136	152	152	168	168
Крок ненавантаженої пружини S	мм	24,9	20,4	28,5	23,2	32,0	26,2	35,6	29,1
Повна довжина дроту l	мм	1060	1230	1210	1410	1360	1590	1510	1760

<i>Діаметр дроту 9 мм</i>									
Максимальне робоче навантаження на пружину P_{max}	Н	1500	1500	1355	1355	1220	1220	1020	1020
Власна частота вертикальних коливань установки при максимальному навантаженні f_{zmax}	Гц	3,2	2,9	2,7	2,5	2,4	2,2	2,2	2,0
Жорсткість пружини в поздовжньому напрямку K_z	Н/м	$6,0 \cdot 10^4$	$4,9 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$
Діаметр пружини D	мм	63	63	72	72	81	81	90	90
Висота пружини в ненавантаженому стані H	мм	126	126	144	144	162	162	180	180
Повна висота пружини в ненавантаженому стані H_0	мм	135	135	153	153	171	171	189	189
Крок ненавантаженої пружини S	мм	28	22,9	32	26,2	36	29,4	40	32,8
Повна довжина дроту l	мм	1190	1390	1360	1590	1530	1786	1700	1980

Визначається статичне навантаження на одну пружину:

$$P_{ст} = \frac{P}{m \cdot n}, \text{ Н} \quad (5.9)$$

де P – загальна вага установки, Н;

n – число віброізоляторів;

m – число пружин в одному віброізоляторі.

Визначається розрахункове максимальне навантаження на одну пружину:

$$P_{\max, \text{роз}} = P_{\text{ст}} + 1,5 \cdot 10^{-3} \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot a_{\text{доп}}}{g} \cdot P_{\text{ст}}, \text{ Н} \quad (5.10)$$

де g – прискорення вільного падіння, $\text{м}^2/\text{с}$;

$a_{\text{доп}}$ – максимальна допустима амплітуда зміщення, мм ;

F – розрахункова частина змушувальної сили, Гц .

Визначається необхідна жорсткість $K_{\text{н}}$ однієї пружини в поздовжньому напрямку:

$$K_{\text{н}} = K_{\text{зн}} / (m \cdot n), \text{ Н/м} \quad (5.11\text{а})$$

де $K_{\text{зн}}$ – необхідна загальна жорсткість віброізоляторів, Н/м ;

n – кількість віброізоляторів;

m – кількість пружин в одному віброізоляторі.

Необхідна загальна жорсткість віброізоляторів:

$$K_{\text{зн}} = 4\pi^2 \cdot f_{\text{о доп}}^2 \cdot M_{\text{н}}, \frac{\text{Н}}{\text{м}} \quad (5.11 \text{ б})$$

де $f_{\text{о доп}}$ – допустима частота власних коливань, що визначається за графіком, рис. 5.4.

Тип віброізоляторів за табл.5.3 та 5.5 вибирається з дотриманням двох умов:

$$P_{\text{max}} \geq P_{\text{max роз}}$$

$$K_{\text{z}} \leq K_{\text{н}}$$

де P_{max} – максимальне робоче навантаження на пружину, Н (табл. 5.3, табл. 5.4);

K_{z} – жорсткість пружини в поздовжньому напрямку, Н/м (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Параметри типових опорних пружин

Величина	Одиниця вимірювання	Пружини							
		ДО-38	ДО-39	ДО-40	ДО-41	ДО-42	ДО-43	ДО-44	ДО-45
1. Максимальне робоче навантаження на пружину D_{max}	<i>H</i>	120	220	340	550	960	1680	2430	3800
2. Власна частота вертикальних коливань установки при максимальному робочому навантаженні f_{zmax}	<i>Гц</i>	3,0	2,7	2,5	2,4	2,1	2,1	1,9	1,8
3. Жорсткість пружини в поздовжньому напрямку K_z	<i>H/м</i>	$4,5 \cdot 10^4$	$6,2 \cdot 10^4$	$8,3 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$
4. Діаметр дроту d	<i>мм</i>	3	4	5	6	8	10	12	15
5. Діаметр пружини D	<i>мм</i>	30	40	50	54	72	80	96	120
6. Висота пружини в ненавантаженому стані H	<i>мм</i>	65	84	102	114	152	171	203	245
7. Число робочих витків i	<i>мм</i>	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
8. Повна висота пружини в ненавантаженому стані H_p	<i>мм</i>	68	88	107	123	164	186	220	275
9. Крок ненавантаженої пружини S	<i>мм</i>	10	13	17	18	24	27	32	40
10. Повна довжина дроту l	<i>мм</i>	752	1015	1185	1370	1825	2020	2424	3032

Визначається ефективність віброізоляції:

$$\Delta L = 20 \lg \left(\frac{f^2}{f_0^2} - 1 \right), \text{дБ} \quad (5.12)$$

f - частота змушувальної сили, Гц;

f_0 - частота власних вертикальних коливань установки, Гц

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_z \cdot g}{P_{ст}}}$$

де K_z – жорсткість одного віброізолятора, Н/м;

$P_{ст}$ – статичне навантаження на одну пружину, Н.

Отримане значення ΔL повинне бути не меншим, ніж наведене в табл.5.2

Таблиця 5.1 – Значення статичної деформації віброізоляторів залежно від нижньої межі області знижуваних частот

$f_H, \text{Гц}$	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,6	8,0
$\lambda_{ст}, \text{м}$	1,02	0,5	0,25	0,13	0,06	0,03	0,02	0,01

Визначаються параметри пружини в робочому стані (табл.5.3 та табл. 5.4):

- максимальне осідання пружини ΔH :

$$\Delta H = (10^3 \cdot P_{\max_{роз}}) / K_z, \text{ мм} \quad (5.14);$$

- повна висота пружини H_p у навантаженому стані, мм:

$$H_p = H_c - \Delta H, \text{ мм} \quad (5.15)$$

- відношення осідання пружини до висоти в навантаженому стані та відношення робочої висоти пружини до діаметра H_p/D .

Завдання 1

Розрахувати віброізольовану основу відцентрового вентилятора з клинопасовою передачею від електродвигуна, встановленого на важкому залізобетонному перекритті, за наступних умов:

Швидкість обертання вентилятора – 420 хв^{-1} ;

Швидкість обертання електродвигуна - 975 хв^{-1} ;

Маса всієї установки (вентилятора, електродвигуна, шківів) – $2,055 \text{ т}$

Ексцентриситет обертових деталей вентилятора $\varepsilon = 0,2 \text{ мм}$

Вага обертових частин вентилятора $P_{об} = 5000 \text{ Н}$

Завдання 2

Розрахувати віброізольовану основу відцентрового вентилятора Ц4-70 № 8 з клинопасовою передачею від електродвигуна, встановленого на важкому залізобетонному перекритті, за наступних умов:

Швидкість обертання вентилятора – 960 хв^{-1} ;

Швидкість обертання електродвигуна - 960 хв^{-1} ;

Маса всієї установки (вентилятора, електродвигуна, шківів) – 376 кг

Ексцентриситет обертових деталей вентилятора $\varepsilon = 0,18 \text{ мм}$

Вага обертових частин вентилятора $P_{об} = 940 \text{ Н}$