

УДК 528.4

Богданов С.С.,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ВІБРАЦІЙ ПРИ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАННЯХ

Представлені сучасні матеріали для гасіння вібрацій, а також розглянуто методика розрахунка віброізоляційного матеріалу. Показана необхідність раціональної установки і ефективна експлуатація віброізоляторів при геодезичних вимірюваннях.

Постановка проблеми. Геодезичні вимірювання при монтажі і експлуатації промислового устаткування доводиться виконувати, як правило, в умовах недостатньої освітленості, запиленості, турбулентності повітря, рефракції, різкого перепаду температури, змінної вологості, впливу електромагнітного поля, струсів і вібрацій.

Одним з найбільш ефективних і простих методів зменшення дії вібрацій на геодезичні прилади є віброізоляція. Проте, цей метод до теперішнього часу не знайшов широкого застосування в практиці геодезичних робіт. Це зумовило ряд причин, які пов'язані із специфікою конструкції і експлуатацією переносного геодезичного обладнання, а крім того, віброізоляція має ряд особливостей, без урахування яких не можна досягти бажаного ефекту.

Віброізоляцією прийнято називати систему пружних опор, на які встановлюється об'єкт з метою захисту його від зовнішнього динамічного впливу. Основна властивість таких опор (віброізоляторів) полягає в тому, що коливання конструкції, яка знаходиться під впливом вібрацій, передається приладу через пружні елементи, що в свою чергу приводить до позитивного результату. Таким чином, при установці системи штатив-геодезичний прилад на пружні опори, отримаємо позитивний ефект віброізоляції, що забезпечується правильним підбором характеристик цієї системи. Тому використання сучасних матеріалів для гасіння вібрацій і дослідження ефективних методів віброзахисту геодезичних приладів є актуальною для енергетичного виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання захисту геодезичних приладів від вібраційної дії розглядаються в роботах [1,2].

Постановка завдання. Метою роботи є застосування сучасних матеріалів для гасіння вібрацій, а також розрахування і експериментальна перевірка ефективності віброізоляційного метода. Показати необхідність раціональної установки віброізоляторів і ефективність їх експлуатації при геодезичних вимірюваннях.

Виклад основного матеріалу. Для захисту від вібрації застосовують наступні методи: зниження віброактивності машин, налаштування резонансних частот, вібродемпфінгування, віброізоляція, віброгасіння, а також індивідуальні засоби захисту [3]. Розглянемо більш детально метод віброізоляції.

Віброізоляція досягається за допомогою системи пружних опор у вигляді спеціальних підкладок з каучуку, ресорів, латексу, вакуумної гуми, пароніту, пробки з повстиною, різні піногасителі, поліуретанові еластомери та інші пружні елементи, що поглинають до 80% вібрацій.

Показником ефективності віброізоляції є коефіцієнт передачі μ . Величина коефіцієнта визначається відношенням частоти f_c збудовальної дії до частоти f_g власних коливань системи, встановленої на віброізоляторі:

$$\mu = \left[\left(\frac{f_c}{f_g} \right)^2 - 1 \right]^{-1} = (\varphi^2 - 1)^{-1} \quad (1)$$

Як матеріал віброізоляторів для захисту системи “штатив-геодезичний прилад” найбільш підходить каучук. Приведемо початкові формули для розрахунка [4].

1. Призначають частоту f_b власних коливань віброізолюваної системи, з тією умовою, щоб відношення частот:

$$\psi = \frac{f_b}{f_g} \geq 3, \text{ тому } \mu \leq \frac{1}{8}. \quad (2)$$

2. Під впливом маси системи віброізолятори отримують статичне осідання $x_{ст}$ (в см), пов'язане з частотою f_b власних коливань:

$$x_{ст} = \frac{25}{f_b^2} \quad (3)$$

3. Величина $x_{ст}$ характеризує жорсткість пружних елементів, тобто зміна їх висоти під впливом навантаження. Тому жорсткість пружних елементів знаходиться за формулою:

$$K = \frac{Q}{x_{ст}}, \quad (4)$$

де Q - маса віброізолюючої системи, а жорсткість одного елемента як:

$$K_1 = \frac{K}{n}, \quad (5)$$

де n - число віброізоляторів.

4. Висота віброізолятора H визначається із співвідношення:

$$H = \frac{E_g * X_{ст}}{\sigma}, \quad (6)$$

де: E_g - динамічний модуль пружності, σ - розрахункова статична напруга. Коефіцієнти вибираються із довідників [5,6].

5. Розмір поперечного перерізу A призначається за умовою:

$$H \leq A \leq 8H, \quad (7)$$

6. Контролюють частоту f_b власних коливань системи, встановленої на віброізоляторі:

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (8)$$

де: $m = \frac{Q}{g}$, $g = 981 \text{ см} / \text{с}^2$.

Якщо частота власних коливань f_b не задовольняє прийнятій в п. 1 умові, то її слід зменшити, здійснюючи для цього наступні заходи:

- зменшити жорсткість віброізоляторів;
- збільшити момент інерції системи додаванням додаткових мас;
- зменшити відстань по висоті між центром тяжіння системи і центром жорсткості віброізоляторів.

7. Знаходиться значення граничної частоти, з якою починається робочий частотний діапазон віброізоляції:

$$f_{zp} = f_s \sqrt{2} \quad (9)$$

8. Залежно від частоти f_b і коефіцієнта передачі визначається амплітуда S_b вимушених коливань системи:

$$S_s = S_{авд} * \mu \quad (10)$$

де: $S_{авд}$ - амплітуда вібраційної дії.

Таким чином, використовуючи вищевикладену методику, можна розрахувати параметри віброізоляторів. Проте практичне застосування цього методу для віброзахисту геодезичного вимірювального приладу має свої специфічні особливості. Основні з них полягають у визначенні місця і способу установки віброізоляторів [2].

У теорії віброізоляційного методу [4] існує вимога, що пред'являється до місця установки пружних елементів – симетричне розташування в плані однакових віброізоляторів щодо центру тяжіння системи. Тільки в цьому випадку всі віброізолятори мають однакове статичне осідання.

З погляду можливого місця установки віброізоляторів при віброзахисті геодезичних приладів існують два варіанти: під підйомні гвинти приладу і під ніжки штатива [2]. У першому випадку симетрична установка пружних елементів дотримується, але віброізоляція не досягає мети з іншої причини. Статичне осідання віброізоляторів у цьому випадку визначається не масою ізольованого приладу, а силою, з якою затиснутий закріпний гвинт. Установка пружних елементів під підйомними гвинтами приладу не дозволяє ефективно боротися з вібраціями, отриманими штативом.

Інший варіант установки віброізоляторів - під ніжки штатива більш якісний, оскільки при цьому відбувається гасіння всієї системи “штатив-прилад”. Проте в цьому випадку практичне застосування віброізоляції викликає певні складнощі. Основна вимога, що пред'являється до геодезичних штативів, - забезпечення стійкості геодезичних приладів у процесі вимірювань. Для цього наконечники штативів загострюють, а ніжки, при установці штативів, з силою вдавлюють в ґрунт. Установка пружних прокладок під ніжки штатива значно ослаблює зв'язок між основою і штативом і призводить до підвищеної нестійкості всієї системи: порушується центрування, нівелювання і орієнтування геодезичного приладу, а результати вимірювань змінюються у зв'язку з додатковими похибками.

Таким чином, практичне використання віброізоляторів вимагає симетричної установки ніжок штатива (по кутах правильного трикутника), забезпечення стійкості системи “штатив-прилад” у процесі вимірювань і виключення можливості проколу прокладок. Ефективне застосування віброізоляційного методу захисту геодезичних приладів можливо, якщо пружні елементи встановлювати між основою і штативом, але не під ніжки штатива, а на підставці [2]. У ланцюжок основи-штатив-прилад вводяться додаткові елементи (пружні прокладки і підставка). При цьому стійкість і симетричність щодо центра тяжіння положення системи “штатив-прилад” забезпечується при установці ніжок штатива в отвори підставки.

Збільшення маси системи за рахунок приєднання додаткових елементів збільшує її інерційний опір і зменшує амплітуду вимушених коливань на тій же вимушеній частоті. Одночасно підставка, створюючи стійкішу рівновагу за рахунок великої відстані між пружними опорами, сприяє зменшенню збурювальної сили і робить застосування віброізоляційного методу простим і легким в експлуатації.

Виходячи з вищевикладеного, розрахуємо практично пружні прокладки і експериментально перевіримо ефективність віброізоляційного методу. Розрахунок здійснений для найбільш характерного випадку: для виконання геодезичних робіт на території енергетичних споруд (АЕС, ГРЕС, ТЕЦ і т. інше), де частота збурювальної вібрації зазвичай - 60 Гц.

Прийmemo частоту f_b власних коливань віброізольованої системи, рівної $f_b = 18$ Гц. Вибір такого значення частоти обґрунтований тим, що власні частоти штативів і геодезичних приладів значно вище, а вібростійкість приладів в області низьких частот висока.

Тоді відношення частот $\psi = \frac{f_3}{f_в} = 3,33 > 3$, а ефективність віброізоляції -

$\mu = \frac{1}{(\psi^2 - 1)} = 0,099$. Статичне осідання віброізоляторів визначимо за формулою

$x_{cm} = \frac{25}{f_в^2}$, $T = \frac{25}{18^2} = 0,077 \text{ см}$, а їх жорсткість, як $k = \frac{Q}{x_{cm}} = \frac{18,5}{0,077} = 240,2$, де $Q=18,5$ кг

(штатив — 8 кг, геодезичний прилад — 5 кг, підставка — 5,5 кг).

Для визначення висоти H пружних елементів необхідно вибрати матеріал віброізоляторів. Як матеріал віброізоляторів підходить каучук, який має динамічний модуль пружності $E_d = 35 \text{ кг/см}^2$ і розрахункова статична напруга $\sigma = 4 \text{ кг/см}^2$. Тоді $H = \frac{E_d \cdot x_{cm}}{\delta} = \frac{35 \cdot 0,077}{4} = 0,67 \text{ см}$. Виходячи з умови (7),

призначимо розмір поперечного перетину прокладок $A=5 \text{ см}$. Перевіримо значення власної частоти системи, встановленої на віброізолятори з каучуку

$f_в = \left(\frac{1}{2\pi}\right) * \sqrt{\frac{k}{m}} = \left(\frac{1}{2\pi}\right) * \sqrt{\frac{240,2}{0,0188}} = 18 \text{ Гц}$, знайдемо граничну частоту

$f_{зр} = f_в \sqrt{2} = 18\sqrt{2} = 25,4 \text{ Гц}$, і амплітуду вимушених коливань системи на частоті вібрації $f_в=60$ Гц. Для цього прийемо значення амплітуди збурювальної вібрації $S_з=40$ мкм, тоді $S_в = S_з \mu = 40 \cdot 0,099 = 4$ мкм.

Коливання системи “штатив-прилад” з амплітудою 4 мкм при частоті $f_в=18$ Гц практично не впливають на стійкість і нормальну роботу приладу.

Використовуючи ці ж самі формули, розрахуємо на ефективність поліуретанові еластомери.

Прийемо частоту f_3 збурювальної вібрації 45 Гц, а частоту $f_в$ власних коливань віброізольованої системи $f_в = 12$ Гц. Тоді отримаємо відношення частот $\psi = \frac{f_3}{f_в} = 3,75 > 3$, а ефективність віброізоляції - $\mu = \frac{1}{(\psi^2 - 1)} = 0,076$.

Статичне осідання віброізоляторів $x_{cm} = \frac{25}{f_в^2}$, $T = \frac{25}{12^2} = 0,1736 \text{ см}$, а жорсткість, як

$k = \frac{Q}{x_{cm}} = \frac{18,5}{0,1736} = 106,6$, де $Q=18,5$ кг вага всієї системи.

Для визначення висоти H поліуретанових еластомерів підставимо динамічний модуль пружності $E_d = 52,5 \text{ кг/см}^2$ і розрахункова статична напруга $\sigma = 6 \text{ кг/см}^2$. Тоді $H = \frac{E_d \cdot x_{cm}}{\delta} = \frac{52,5 \cdot 0,1736}{6} = 1,52 \text{ см}$. Розмір поперечного перетину прокладок $A=5 \text{ см}$. Перевіримо значення власної частоти системи

$$f_{\epsilon} = \left(\frac{1}{2\pi}\right) * \sqrt{\frac{k}{m}} = \left(\frac{1}{2\pi}\right) * \sqrt{\frac{106,6}{0,0188}} = 12 \text{ Гц}, \quad \text{знайдемо} \quad \text{граничну} \quad \text{частоту}$$

$f_{zp} = f_{\epsilon} \sqrt{2} = 12\sqrt{2} = 17 \text{ Гц}$. Амплітуда вимушених коливань системи $f_{\epsilon} = 45$ Гц. Значення амплітуди збурювальної вібрації $S_z = 40$ мкм, тоді $S_{\epsilon} = S_{z\mu} = 40 \cdot 0,076 = 3,04$ мкм.

Коливання системи “штатив-прилад” з амплітудою 3,04 мкм при частоті $f_{\epsilon} = 12$ Гц задовольняють умову роботи.

Висновки. Розглядається можливість застосування сучасних матеріалів для гасіння вібрацій. Наведено приклад декількох розрахунків і експериментально перевірено ефективність віброізоляційного методу, а також показана необхідність раціональної установки віброізоляторів.

Література

1. Ямбаев Х.К. Специальные геодезические приборы для инженерно-геодезических работ. – М.: Недра, 1990. – 267 с.: ил.
2. Кирьянов Ю.В., Перов В.А. Использование метода виброизоляции для защиты геодезических приборов от вибрационного воздействия. - Изв. вузов Геодезия и аэрофотосъемка, 1984, №4, с. 110-115
3. Жуков Б.Н., Устаивч Г.А. Пути повышения точности геодезических измерений в условиях влияния возмущающих воздействий. – Межвузовский сб. Применение геодезических методов при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, т. 7, 1979, с. 9-12.
4. Йорши Ю.И. Виброметрия. - Москва, 1966.
5. Федюкин Д.Л., Махлис Ф.А., Технические и технологические свойства резин, М., 1985.
6. Применение резиновых технических изделий в народном хозяйстве. Справочное пособие, М., 1986.

Аннотация

В статье представлены современные материалы для гашения вибраций, а также рассмотрена методика расчета виброизоляционного материала. Показана необходимость рациональной установки и эффективная эксплуатация виброизоляторов при геодезических измерениях.

Annotation

The paper presents the advanced materials for vibration damping, as well as the technique of calculating the vibration control material. The necessity of setting a rational and efficient exploitation of vibration isolators for geodetic measurements.