

РАСЧЕТ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ С КОНЕЧНЫМ ЗНАЧЕНИЕМ ПОДАТЛИВОСТИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

У статті розглянутий вплив податливості фундаменту на ефективність віброізоляції машини.

CALCULATION OF A VIBRATION INSULATION OF A SUPPORTING CONSTRUCTION WITH A TERMINATING VALUE OF A COMPLIANCE AT HARMONIC EXCITATION

In paper influence of a compliance of the base on effectiveness of a vibration insulation of the machine surveyed.

Необходимость рассмотрения вопроса о влиянии податливости опорных конструкций на эффективность виброизоляции машины становится актуальным в связи с наличием значительного количества машин и оборудования в горно-обогатительной отрасли, которые имеют бесфундаментную схему закрепления.

Кроме того, часть обслуживающего персонала для обеспечения технологии переработки горного сырья вынуждена либо всю рабочую смену находиться на перекрытиях, которые имеют повышенные уровни вибраций, либо находиться на них на протяжении трех-четырех часов в смену при обслуживании большого количества оборудования. Введение в действие ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» [1] приводит к необходимости повышения эффективности систем виброизоляции для обслуживающего персонала и должны быть не менее чем в 3 раза меньшими, чем предельно-допустимые для фундаментов и строительных конструкций.

Разработка эффективных систем виброизоляции требует учета влияния на их эффективность:

- типа опорных конструкций;
- вида и величины динамических нагрузок, передаваемых на опорные конструкции;
- направления действующих сил, которые обуславливают максимальные составляющие вибрации;
- особенности расположения источника вибрации по отношению к элементам, на которые опирается податливая конструкция.

В ряде случаев, когда в виде опорных конструкций используются изделия из профилированного металла, а для площадок обслуживания используется листовая сталь, вопросы высокой эффективности систем виброизоляции становятся особенно актуальными.

В практике использования средств виброизоляции опорные или поддерживающие конструкции представляют собой сосредоточенные массы. Расчет эффективности системы виброизоляции для таких опорных конструкций приведен в работах [2, 3] при условии, что ее первая собственная частота колебаний в десять и более раз выше частоты вынужденных колебаний машины на виброизоляторах (поддерживающая конструкция абсолютно жесткая). Другой тип опорных конструкций представляет собой системы с распределенными параметрами (с конечным значением податливости).

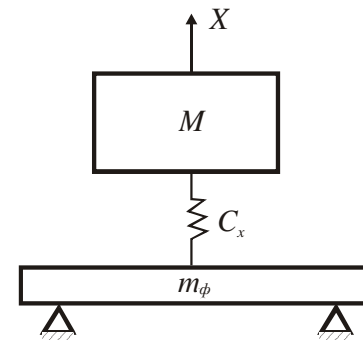


Рис. 1 – Расчетная схема виброизолирующей системы машины

В данной статье рассматриваются опорные конструкции в виде плит, опирающиеся на жесткие опоры по контуру плиты (вариант для пола на первом этаже), а также в виде плиты, опирающейся по периметру и в средней ее части на опоры с конечными значениями податливости (вариант перекрытия в многоэтажном цехе).

Расчетные схемы источника вибрации с системой виброизоляции и обозначениями параметров колебательной системы приведены на рис. 1.

Принято, что преимущественное влияние на опорные конструкции оказывает основная составляющая силового воздействия на частоте вынужденных колебаний, в том смысле что воздействия гармонических составляющих или других возмущающих сил на порядок более слабые.

Оценка эффективности системы виброизоляции при использовании податливых опорных конструкций определяется по значениям силы, передающейся от машины на поддерживающую конструкцию через виброизолятор, величинам виброскорости опорной конструкции и сравнению их с предельно допустимыми для строительных конструкций и обслуживающего персонала.

Исходные параметры расчетной схемы:

- характеристика динамической нагрузки (амплитуда и частота);
- характеристики машины (масса, центр масс, радиусы инерции относительно центра);
- характеристики поддерживающей конструкции (геометрические размеры, масса, жесткость, демпфирование, импеданс).

Далее поддерживающую конструкцию в виде перекрытия будем называть фундаментом.

Примем следующие обозначения:

Q_x – сила, передающаяся от машины на фундамент через виброизолятор, Н;

X_ϕ – виброперемещение фундамента в направлении оси x , м;

M – масса машины, кг;

m_ϕ – масса фундамента, кг;

a, b, h – длина, ширина, толщина фундамента, м;

E_ϕ – модуль упругости материала фундамента, Н/м²;

μ – коэффициент Пуассона;

$P_x \sin \alpha t$ – гармоническое возбуждение;

$\eta_m, \eta_s, \eta_\phi$ – импедансы машины, виброизоляторов, фундамента, Н·с/м.

Цель расчета – определение Q_x и X_ϕ в сравнении с исходными значениями, а также определение эффективности виброизоляции с учетом податливости фундамента.

Импеданс машины определяется по формуле [4]:

$$\eta_m = J \omega M, \quad (1)$$

где J – мнимая единица, $J^2 = -1$;

ω – угловая частота, рад/с.

$$|\eta_m| = -\omega M. \quad (2)$$

Параметры перекрытия определяются по формулам:

$$C_{цил.} = \frac{E_\phi \cdot h^3}{12(1-\mu^2)}; \quad m'_\phi = \frac{1}{4} m_\phi; \quad C_\phi = 100 \frac{C_{цил.}}{a \cdot b}; \quad (3)$$

$$\omega'_\phi = \frac{\pi^2}{a^2} \sqrt{\frac{C_{цил.} \cdot a \cdot b}{m_\phi}}; \quad \omega''_\phi = 36 \omega'_\phi,$$

где $C_{цил.}$ – жесткость на изгиб, Н·м;

$\omega'_\phi, \omega''_\phi$ – условные собственные угловые частоты колебаний фундамента, рад/с.

Импеданс фундамента определяется:

$$\text{при } \omega \leq \omega'_\phi \quad \eta_\phi = J \left(\omega m'_\phi - \frac{C_\phi}{\omega} \right); \quad (4)$$

$$\text{при } \omega \geq \omega''_\phi \quad \eta_\phi = 8 \sqrt{\frac{C_{цил.} \cdot m_\phi}{a \cdot b}};$$

при $\omega'_\phi < \omega < \omega''_\phi$ – импеданс определяют экспериментальным путем.

Импеданс виброизолятора

$$\eta_s = (1 + J \gamma_s) \frac{C_x}{\omega}, \quad (5)$$

где γ_s – коэффициент внутреннего трения материала виброизолятора;

$$|\eta_s| = \sqrt{\frac{C_x^2}{\omega^2} - \gamma_s^2 \frac{C_x^2}{\omega^2}}. \quad (6)$$

Коэффициент передачи с учетом податливости фундамента определяется формулой

$$K = \left| \frac{1}{1 + \frac{1}{\eta_s \left(\frac{1}{\eta_\phi} + \frac{1}{\eta_m} \right)}} \right|. \quad (7)$$

Сила, передающаяся от машины на фундамент через виброизоляторы

$$Q_x = K \cdot P_x.$$

Виброскорость фундамента

$$\dot{x}_\phi = \frac{K}{\eta_\phi}.$$

При значениях Q_x и \dot{x}_ϕ больше допустимых уменьшают C_x и расчет повторяют.

Определяют $x_0 = K \frac{P_x}{C_x}$.

При значениях x_0 выше допустимых увеличивают m_ϕ путем введения постамента и во столько же раз C_x и расчет повторяют.

Пример расчета.

Найдем коэффициент передачи для перекрытия под вихревым смесителем ЦПО-2.

Размеры фундамента $18 \times 24 \times 0,35$ м; материал – литой железобетон, плотность $\rho = 7,8 \cdot 10^3$ кг/м³, модуль упругости $E_\phi = 186 \cdot 10^9$ Н/м².

По формулам (3)

$$C_{\text{цил.}} = \frac{186 \cdot 10^9 (0,35)^3}{12(1-0,5^2)} = 1,18 \cdot 10^9 \text{ Н/м};$$

$$m_\phi = V \cdot \rho = 18 \cdot 24 \cdot 0,35 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 1,18 \cdot 10^6 \text{ кг};$$

$$\omega'_\phi = \frac{\pi^2}{18^2} \sqrt{\frac{1,18 \cdot 10^9 \cdot 18 \cdot 24}{1,18 \cdot 10^6}} = 20 \text{ рад/с};$$

$$\omega = 15 \text{ рад/с}, \omega < \omega'_\phi,$$

значит $|\eta_\phi| = \left| \frac{C_\phi}{\omega} - \omega m'_\phi \right|;$

$$C_\phi = 100 \frac{C_{\text{цил.}}}{a \cdot b} = \frac{100 \cdot 1,18 \cdot 10^9}{18 \cdot 24} = 2,7 \cdot 10^8 \text{ Н/м};$$

$$m'_\phi = \frac{1}{4} m_\phi = 0,3 \cdot 10^6 \text{ кг};$$

$$|\eta_\phi| = \left| \frac{2,7 \cdot 10^8}{15} - 15 \cdot 0,3 \cdot 10^6 \right| = 13,5 \cdot 10^6 \text{ (Н·с)/м}.$$

Масса машины $M = 35$ т, жесткость виброизолирующей системы $C_x = 36,4$ МН/м.

$$\text{По (2) } \eta_m = -15 \cdot 35 \cdot 10^3 = -525 \cdot 10^3 \text{ (Н·с)/м.}$$

$$\eta_6 = \frac{36,4 \cdot 10^6}{15} = 2,4 \cdot 10^6 \text{ (Н·с)/м.}$$

$$\text{По (7) } K = \left| \frac{1}{1 + \frac{1}{2,4 \cdot 10^6}} \right| = 0,3.$$

$$\left(\frac{1}{1,35 \cdot 10^7} - \frac{1}{525 \cdot 10^3} \right)$$

Эффективность виброизоляции при этом составит $\Xi = (1-0,3) \cdot 100 \% = 70 \%$, что меньше, если принять фундамент абсолютно жестким ($\Xi = 85 \%$).

Для увеличения Ξ рекомендуется увеличить массу фундамента, уменьшить жесткость опор, установить гаситель колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. –Київ: МОЗ України, 2000. –43 с.
2. Тихомиров Ю.Ф. Промышленные вибрации и борьба с ними. – Киев: Техника, 1975. – 184 с.
3. Вибрация в технике: Справочник в 6-ти т. / Ред. совет: В.Н. Челомий (пред.). –М.: Машиностроение, 1981. –Т. 6. – Защита от вибраций и ударов / Под ред. К.В. Фролова. –1981. – 456 с.
4. Иорш Ю.И. Виброметрия. –М.: Машгиз, 1963. –771 с.

УДК 539.3

Гребенюк С.Н., Лисица Н.Н., Мизерная Е.Л.,
Киричевский Вал.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОМПОЗИТНОЙ ПЛАСТИНЫ С КРУГОВЫМ ОТВЕРСТИЕМ

Розглянуто задачу в'язкопружного деформування композитної пластини з круговим отвором. Розв'язок отриманий на основі методу скінченних елементів. Дану методику реалізовано у вигляді пакету прикладних програм «МИРЕЛА+».

SIMULATION AND CALCULATION TENSELY-DEFORMED STATES OF A COMPOSITE PLATE WITH A CIRCULAR ORIFICE

The problem of the viscoelastic deformation of a composite plate with a circular orifice surveyed. The solution is obtained on the basis of a finite element method. The given procedure is implemented as an application package «МИРЕЛА+».

Использование композиционных материалов в качестве конструкционных позволяет направленно регулировать свойства материалов при создании конструкции, оптимизации прочностных свойств конструкции, их вес, геомет-