

УДК 534.833: 621

**ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ
ОПЕРАТОРА ОСНОВОВЯЗАЛЬНЫХ МАШИН**

Б.С. САЖИН, О.С. КОЧЕТОВ, А.В. ШЕСТЕРНИНОВ, Е.В. ОРЕШКИНА, А.В. КОСТЫЛЕВА

(Московский государственный текстильный университет им.А.Н. Косыгина,
Ульяновский государственный технический университет)

Систематическое воздействие вибрации на организм оператора приводит к развитию вибрационной болезни и, как следствие, к снижению производительности труда, а при длительном воздействии – к возникновению профессиональных заболеваний.

ГОСТ 12.1.012–90 [1] и Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556–96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий регламентируют параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасным оборудованием. В связи с этим одной из актуальных задач является создание эффективных технических средств виброзащиты производственного персонала.

Борьба с вибрацией посредством традиционного способа [2] – виброизоляции

самых основязальных машин – сопряжена с большими экономическими затратами, обусловленными необходимостью демонтажа крупногабаритного и тяжелого оборудования, нарушением целостности технологической цепочки, предусматривающей автоматизированную подачу основы и сьема готовой продукции посредством конвейеров, расположенных, как правило, на втором ярусе машин, где находятся также площадки операторов по ремонту шпулярников.

Одним из достаточно эффективных и вместе с тем простых в смысле технической реализации способов виброзащиты являются виброизолированные помосты [3] для человека-оператора, которые практически не использовались в текстильной промышленности.

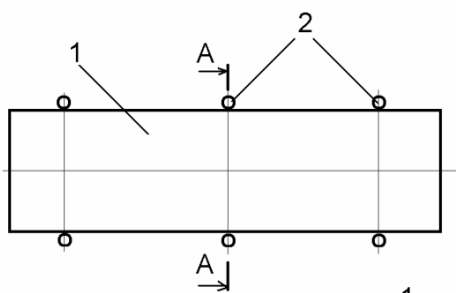


Рис. 1

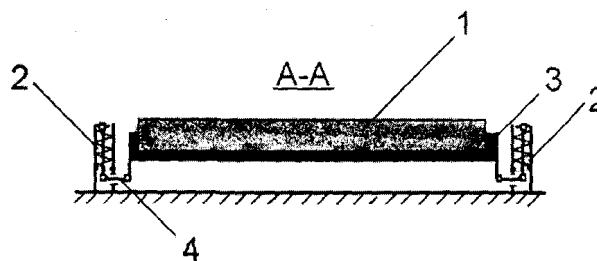


Рис. 2

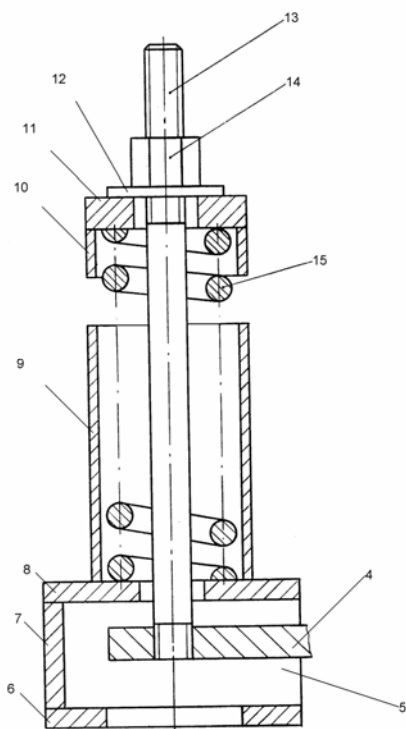


Рис. 3

На рис.1 изображена общая схема виброизолирующего помоста; на рис.2 – профильный разрез А–А помоста, а на рис.3 – фронтальный разрез используемого упругого элемента.

Виброизолирующий помост оператора состоит из жесткого каркаса 3, выполненного, например, из металлических уголков; настила 1, изготовленного из дерева или композиционного материала, который является опорной поверхностью для оператора, и упругих элементов 2, соединенных с каркасом посредством шарнирного рычага 4.

Упругие элементы 2 (рис. 2) выполнены с маятниковым подвесом и содержат пружину сжатия 15 (рис. 3), взаимодействующую с основанием корпуса 5 и маятниковым подвесом, выполненным в виде резьбовой шпильки 13, соединенной одним концом с шарнирным рычагом 4 для крепления с каркасом 3, а другим – с упорной шайбой 12 и гайкой 14, соединенной со втулкой 11, скрепленной с кольцом 10 и взаимодействующей с верхним торцом пружины 15, а нижний торец пружины 15 упирается в основание 5, состоящее из верхней 8 и нижней 6 пластин, соединен-

ных вертикальными пластинами 7.

На верхней пластине 8 закреплена втулка 9 из композиционного фрикционного материала, причем зазор между боковыми поверхностями втулки 9 и пружины 15 лежит в оптимальном интервале величин: 0,1...0,5 мм, что позволяет обеспечить необходимое демпфирование.

Упорная шайба 12, взаимодействующая с гайкой 14 и втулкой 11, выполнена из упругого материала для гашения ударных нагрузок при посадке виброизолирующей системы на упоры.

При колебаниях настила 1 пружина 15 воспринимает вертикальные нагрузки, ослабляя тем самым динамическое воздействие.

Горизонтальные нагрузки воспринимаются маятниковым подвесом, выполненным в виде резьбовой шпильки 13, соединенной одним концом с рычагом 4, а другим – с упорной шайбой 12 и гайкой 14. За счет такой схемы выполнения маятникового подвеса обеспечивается дополнительная пространственная виброизоляция оператора по всем шести направлениям колебаний (по трем координатным осям x , y , z и поворотным колебаниям вокруг этих осей).

Втулка 9 выполнена из композиционного фрикционного материала и установлена с зазором между боковыми поверхностями втулки и пружины 15 в оптимальном интервале величин: 0,1...0,5 мм, что позволяет обеспечить необходимое демпфирование при пространственной схеме виброизоляции.

Упорная шайба 12, взаимодействующая с гайкой 14 и втулкой 11, выполнена из упругого материала для гашения ударных нагрузок при посадке виброизолирующей системы на упоры, например, при посадке кольца 10 на втулку 9 при воздействии единичной нагрузки или толчка.

Для аналитического исследования динамических характеристик в механической системе помост–оператор и выбора рациональных конструктивных параметров помоста получены уравнения, адекватно описывающие динамику процесса виброизоляции.

Динамика рассматриваемой системы виброизоляции описывается следующей

системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_1 s^2 Z_1 + b_1 s(Z_1 - Z_2) + c_1(Z_1 - Z_2) = 0, \\ m_n s^2 Z_2 + b_1 s(Z_2 - Z_1) + c_1(Z_2 - Z_1) + b_n s(Z_2 - U) + c_n(Z_2 - U) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

В этих уравнениях тело человека-оператора представлено в виде динамического гасителя колебаний с массой m_1 , жесткостью c_1 и демпфированием b_1 , а масса, жесткость и демпфирование виброизолирующего помоста соответственно m_2 , c_2 и b_2 , причем Z_1 и Z_2 – абсолютные перемещения соответственно масс m_1 и m_2 , а U – абсолютное перемещение осно-

вания (межэтажного перекрытия) фабрики.

Для анализа виброизолирующих свойств системы помост–оператор введем в рассмотрение ее передаточную функцию $T(s)$ по каналу виброскорость основания – виброскорость помоста, где $s = j\omega$ – комплексная частота, j – мнимая единица, ω – круговая частота колебаний:

$$T(s) = \frac{Z_2}{U} = \frac{(m_1 s^2 + b_1 s + c_1)(b_n s + c_n)}{(m_1 s^2 + b_1 s + c_1)(m_n s^2 + b_1 s + c_1 + b_n s + c_n) - (b_1 s + c_1)^2}. \quad (2)$$

Передаточную функцию $T(s)$ нетрудно найти из (1) и (2) посредством метода пре-

образования Лапласа:

$$\begin{aligned} T(s) &= (a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3) / (K_0 s^4 + K_1 s^3 + K_2 s^2 + K_3 s + K_4), \\ a_0 &= m_1 b_n, \\ a_1 &= b_1 b_n + m_1 c_n, \\ a_2 &= b_n c_1 + b_1 c_n, \\ a_3 &= c_1 c_n, K_0 = m_1 m_n, \\ K_1 &= b_1 m_n + m_1 b_1 + m_1 b_n, \\ K_2 &= c_1 m_n + m_1 c_1 + b_1 b_n + m_1 c_n, \\ K_3 &= c_1 b_n + b_1 c_n, K_4 = c_1 c_n. \end{aligned} \quad (3)$$

Для теоретического исследования динамических характеристик этой системы была составлена программа расчета на

ПЭВМ (язык программирования "СИ++").

Машинный эксперимент осуществлялся по плану, представленному в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

P_1 , кгс	ω_1 , с ⁻¹	β_1	P_2 , кгс	ω_2 , с ⁻¹	β_2	Диапазон изменения
80	var	0,2	50	37,68	0,05	$\omega_1=20...40$
var	25,4	0,2	50	37,68	0,05	$P_1=50...150$
80	25,4	0,2	50	var	0,05	$\omega_2=6,28...37,68$
80	25,4	var	50	62,8	0,05	$\beta_1=0...1$
80	25,4	0,2	50	62,8	var	$\beta_2=0...1$
80	25,4	0,6	50	62,8	var	$\beta_2=0...1$
80	25,4	var	50	12,56	0,05	$\beta_1=0...1$
80	25,4	0,2	50	12,56	var	$\beta_2=0...0,7$
var	25,4	0,2	50	12,56	0,05	$P_1=50...150$
var	25,4	0,2	50	18,84	0,05	$P_1=50...150$
var	25,4	0,2	50	25,12	0,05	$P_1=50...150$

Анализируя результаты, полученные при проведении машинного эксперимента на ПЭВМ по исследованию динамических характеристик системы "оператор на виброизолирующем помосте", можно сделать следующие выводы.

При изменении биодинамических характеристик тела человека-оператора (его упруго-инерционных и диссипативных свойств), в частности, в рассматриваемой математической модели парциальной частоты ω_1 (в диапазоне от 20 до 40 с^{-1}) динамического гасителя колебаний, которым моделируется тело оператора, следует отметить следующее. С уменьшением ω_1 уменьшается величина первого резонансного пика динамической характеристики со смещением влево по частотной оси, а величина второго резонансного пика динамической характеристики увеличивается, также смещаясь влево.

Таким образом, при парциальной частоте подвеса помоста $\omega_2 = 37,68 \text{ с}^{-1}$ (реализуется с помощью резиновых виброизоляторов) виброзащитные свойства помоста ($T(\omega) < 1$) будут иметь место для $\omega_1 = 20 \text{ с}^{-1}$ начиная с частоты 86 с^{-1} , а для $\omega_1 = 40 \text{ с}^{-1}$ начиная с частоты 34 с^{-1} .

При изменении веса оператора P_1 от 50 до 150 кгс при $\omega_1 = 25,4 \text{ с}^{-1}$ и $\omega_2 = 37,68 \text{ с}^{-1}$ (резиновый подвес помоста) координаты первого резонансного пика остаются без изменения, а второго – существенно меняются как по величине от $T(\omega) = 2,2$; $P_1 = 50 \text{ кгс}$ до $T(\omega) = 1,3$; $P_1 = 150 \text{ кгс}$, так и по частоте: от $p = 58 \text{ с}^{-1}$; $P_1 = 50 \text{ кгс}$ до $p = 80 \text{ с}^{-1}$; $P_1 = 150 \text{ кгс}$.

Виброизоляция человека-оператора на помосте начинается при его весе 50 кгс с частоты 77 с^{-1} , а при весе 150 кгс с частоты 105 с^{-1} .

Экспериментальная проверка эффек-

тивности разработанной конструкции виброизолированного помоста проводилась в вязальном цехе Московского производственного коврового объединения, оснащенного 21 помостом при скорости вращения главного вала основовязальных машин 499 об/мин. Эффективность виброизоляции составила 8...11 дБ в полосе частот 4...63 Гц.

ВЫВОДЫ

1. Для теоретического исследования динамических характеристик виброизолированного помоста была составлена программа расчета на ПЭВМ (язык программирования "СИ++") и проведен машинный эксперимент.

2. Проведен сравнительный анализ полученных результатов и результатов экспериментальной проверки эффективности виброизолированного помоста, который подтвердил правильность математического описания разработанной системы с учетом биодинамических характеристик тела человека-оператора, которое ведет себя как динамический гаситель колебаний с собственной частотой порядка 5...7 Гц.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.012–90. ССБТ. Вибрация. Общие требования безопасности. М.: Госстандарт, 1991.
2. Сажин Б.С., Кочетов О.С., Синев А.В. и др. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003, № 1. С. 92...97.
3. Свидетельство РФ на ПМ № 10434. Виброизолированный помост оператора/ Кочетов О.С. и др. – Оpubл. 1999. Бюл. № 7.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности. Поступила 18.04.06.