

УДК 677:628.517.2

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ
АППАРАТОВ С ВИБРОКИПАЩИМ СЛОЕМ**

Б.С.САЖИН, О.С.КОЧЕТОВ, А.В.КОСТЫЛЕВА, С.С.ШЕСТАКОВ

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

Сушильные установки с виброкипящим слоем имеют в своем составе вибраторы различных типов и конструкций, генерирующие обычно колебания в частотном диапазоне от 12 до 50 Гц с амплитудой 1...5 мм. Так, например, общей отличительной чертой горизонтальных аппаратов с вибрирующим лотком является горизон-

тальное или с небольшим углом к горизонту расположение вибрирующего лотка, вдоль которого перемещается слой сыпучего материала. Такое расположение лотка обеспечивает небольшую высоту всей установки и позволяет организовать любой характер потока реагентов или фаз (прямоток, противоток, перекрестный ток).

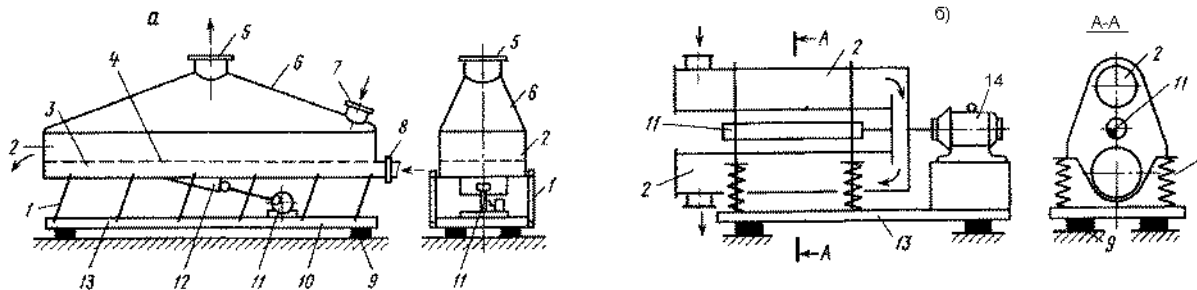


Рис.1

На рис.1-а,б показаны принципиальные схемы аппаратов с горизонтальным вибрирующим лотком: а) – с эксцентриковым вибратором; б) – с одновальным дебалансным вибратором. Аппарат с виброкипящим слоем, дополнительно продуваемым газом снизу вверх (рис. 1-а), состоит из лотка 2, закрепленного посредством наклонных пружин 1 на тяжелой плите 13. Почти вдоль всего лотка с нижней его стороны проходит ребро жесткости 12, к которому на шарнире закреплен шатун эксцентрикового вибратора 11. Определенный наклон пружин 1 при работе вибратора 11 создает возвратно-поступательный характер перемещения лотка в направлении,

нормальном к оси пружин, обеспечивая заданный угол бросания материала относительно поверхности лотка. Лоток имеет двойное дно, образующее короб 3 для подачи теплоносителя. Потолок короба, или дно 4 лотка, по которому перемещается обрабатываемый материал, выполнено из сетки. Газ, подаваемый в короб через соединительный патрубок 8, через сетку 4 поступает под слой материала, а из-под кожуха 6 через соединительный патрубок 5 выводится из аппарата. Материал загружают на лоток через окно 7, выгружают в противоположном конце аппарата. Плита 13 через резиновые амортизаторы 9 опирается на основание производственного по-

мещения. Однако данная принципиальная схема аппарата с горизонтальным вибрирующим лотком является только одним из вариантов аппаратов данного класса, который при специфических условиях претерпевает многообразные изменения в конструктивном и технологическом отношениях.

В аппаратах для тонкого измельчения, перемешивания и некоторых других процессов лотки-камеры выполняют из труб 2 (рис. 1-б), при этом одновальный дебалансный вибратор 11, связанный посредством гибкого соединения с электродвигателем 14, жестко крепят соосно с камерами.

В качестве вибропривода аппаратов применяют в диапазоне частот от 16 до 50 Гц дебалансные вибраторы, при низких частотах от 2 до 25 Гц – эксцентриковые, а при частотах 25...100 Гц – электромагнитные вибраторы.

Для привода аппаратов данного класса могут применяться также гидравлические и пневматические исполнительные механизмы, получающие импульсы от отдельно стоящих генераторов. Частота колебаний лотка аппарата, в зависимости от технологического процесса, свойств материала и скорости его перемещения, изменяется от

2 до 100 Гц. Соответственно амплитуда колебаний составляет 30...0,7 мм. Собственную частоту колебаний аппарата выбирают выше или близкой к резонансу системы. В последнем случае осуществляется постоянный обмен кинетической и потенциальной энергии между колеблющейся массой аппарата и системой пружин, что значительно снижает мощность электропривода, функцией которого становится только восстановление потерь на трение и совершение основной технологической работы.

При выборе параметров вибрации необходимо выполнять условие, при котором материал перемещается с периодическим отрывом слоя от поверхности лотка. Применение виброизоляторов позволяет устанавливать аппараты на сравнительно легких конструкциях, на которые не передаются ни динамические нагрузки, ни вибрация. Данная задача должна решаться с обязательным рассмотрением вопросов динамики работы вибросушилки на конкретном, имеющем определенные динамические характеристики, основании или перекрытии с применением виброизоляторов соответствующей жесткости.

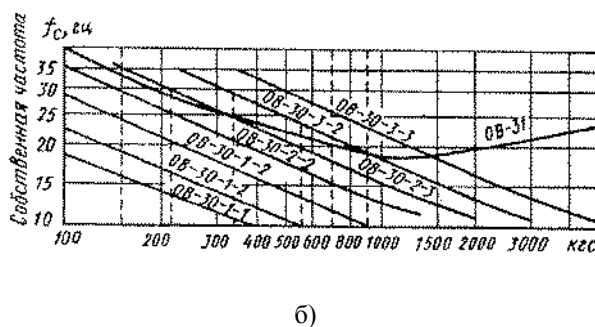
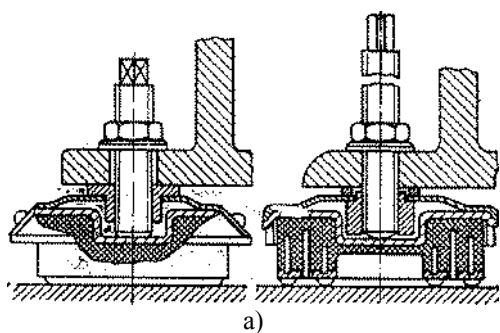


Рис.2

На рис. 2 представлены наиболее часто встречающиеся схемы виброизолирующих опор, выпускаемых отечественной промышленностью и за рубежом (а) – конструктивные схемы; б) – динамические характеристики). Рассмотрим наиболее часто встречающиеся случаи установки вибросушилок на отечественные виброизоляторы типов ОВ-30, ОВ-31, ОВ-33, частотные характеристики которых представлены на рис. 2-б.

Рассмотрим методику расчета параметров виброизоляторов для вибросушилок в зависимости от их режимов работы и характеристик основания, на котором они смонтированы. Остановимся на рассмотрении динамических характеристик системы «вибросушилка на виброизоляторах» на абсолютно жестком основании. Здесь возможны три основные схемы (А,В,С).

Схема А. Абсолютно жесткое основание. Вязкое демпфирование в системе виброизоляции (рис. 3 – расчетная схема установки вибросушилки).

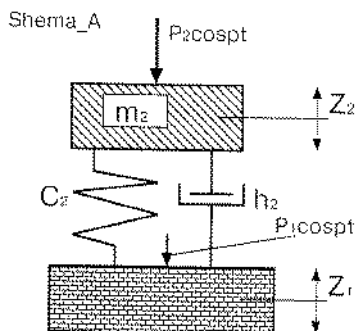


Рис.3

Коэффициент передачи определяет отношение амплитуды силы, воспринимаемой основанием, к амплитуде возмущающего воздействия.

Для систем с одной степенью свободы при гармоническом законе изменения возмущающей силы с постоянной амплитудой коэффициент передачи $T(p)$ выражается формулой

$$T(p) = \sqrt{\frac{1 + 4 \frac{p^2}{\omega_2^2} D_2^2}{\left(1 - \frac{p^2}{\omega_2^2}\right)^2 + 4 \frac{p^2}{\omega_2^2} D_2^2}}, \quad (1)$$

где p – частота возмущающего воздействия, c^{-1} ; ω_2 – собственная частота колебаний машины на виброизоляторах, c^{-1} ; D_2 – относительный коэффициент демпфирования системы.

Для того, чтобы сила, передаваемая от вибросушилки на перекрытие, была меньше возмущающей силы, необходимо соблюдение следующего условия:

$$\frac{p}{\omega_2} \geq \sqrt{2}. \quad (2)$$

Собственная частота колебаний машины и относительный коэффициент демпфирования системы определяются по формулам:

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{c_2}{m_2}}; \quad (3)$$

$$D_2 = \frac{h_2}{2\sqrt{c_2 m_2}}; \quad (4)$$

где c_2 и m_2 – соответственно жесткость упругих элементов виброизоляторов и масса машины; h_2 – абсолютная величина вязкого демпфирования в системе, которая связана с логарифмическим коэффициентом затухания δ_2 колебательной системы следующей зависимостью:

$$\delta_2 = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{m_2 c_2}{h_2^2} - \frac{1}{4}}}. \quad (5)$$

В процессе экспериментальных исследований, проведенных на заводе «Поливинилацетат», при установке вибросушилки для поливинилацетата бисерного (ПВАБ) на втором этаже завода были получены следующие исходные данные для расчета: $P_1=1500$ кгс (вес перекрытия под вибросушилкой); $c_1=15657$ кгс/см (жесткость перекрытия); $D_1=0,05$ (относительное демпфирование перекрытия); $\omega_1=100,48$ c^{-1} (собственная частота колебаний перекрытия). На языке программирования «СИ++» была составлена программа расчета оптимальных параметров виброизолирующей системы, учитывающая возможные случаи установки вибросушилки на абсолютно жесткое основания (см. схемы А, В, С). Машинный эксперимент осуществлялся по плану, представленному в табл.1.

P_2 , кГц	C_2 , кГц/см	D_2	ω_2 , с ⁻¹	Тип виброизолятора	№ схемы
$P_2=1000...2000$	24465	0,05	125,6	ОВ 30-2-2	(А 1)
$P_2=1000...2000$	15657	0,05	100,48	ОВ 30-1-2	(А 2)
$P_2=500...2000$	8897	0,05	75,36	ОВ 30-1-1	(А 3)

Анализируя полученные результаты, выполненные по расчетной схеме А, можно сделать следующие выводы. На частоте вынужденных колебаний вибросушилки, равной 148,6 с⁻¹ (1420 об/мин), при установке ее на виброизоляторы модели ОВ 30-2-2 (рис.4 – коэффициент передачи системы «вибросушилка на виброизоляторах типа ОВ 30-2-2» при установке ее на абсолютно жесткое основание и при наличии вязкого демпфирования в системе виброизоляции: P_2 (var 1000...2000 кГц); $C_2=24465$ кГц/см ($f=20$ Гц; $\omega=125,6$ с⁻¹); $D_2=0,05$) наблюдается увеличение коэффициента передачи: при $P_2 = 1250$ кГц до 5,1; при $P_2=1500$ кГц до 2,5; при $P_2=1750$ кГц до 1,6; при $P_2 = 2000$ кГц до 1,5 (зарезонансный режим работы); при $P_2 = 1000$ кГц до 8,5 (дорезонансный режим работы). При установке вибросушилки на виброизоляторы модели ОВ 30-1-2 снижение коэффициента передачи наблюдается начиная с $P_2 = 1500$ кГц до 0,84 и затем он уменьшается до 0,51 при $P_2 = 2000$ кГц (зарезонансный режим работы).

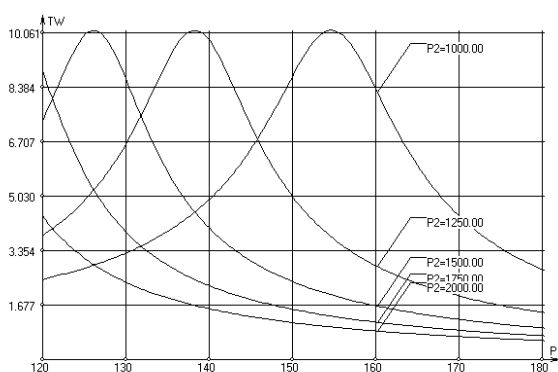


Рис.4

При установке вибросушилки на виброизоляторы модели ОВ 30-1-1 снижение коэффициента передачи наблюдается начиная с $P_2 = 875$ кГц до 0,85 и затем он уменьшается до 0,31 при $P_2 = 2000$ кГц (за-

резонансный режим работы). При $P_2 = 500$ кГц наблюдается увеличение колебаний на частоте вынужденных колебаний вибросушилки, равной 148,6 с⁻¹, почти в 2 раза, что не позволяет осуществлять технологический процесс сушки при таких режимах работы вибросушилки.

Схема В. Абсолютно жесткое основание. Демпфирование в системе виброизоляции обусловлено потерями энергии в материале виброизолятора

$$|T(p)| = \sqrt{\frac{1 + \gamma_2^2}{\left(1 - \frac{p^2}{\omega_2^2}\right)^2 + \gamma_2^2}}, \quad (6)$$

где γ_2 – коэффициент неупругого сопротивления системы, который связан с коэффициентом поглощения ψ_2 энергии в материале виброизоляторов и декрементом затухания δ_2 следующей зависимостью:

$$\gamma_2 = \frac{\phi_2}{2\pi} = \frac{\delta_2}{\pi}. \quad (7)$$

Анализируя полученные результаты исследований по расчетной схеме В, можно сделать следующие выводы. На частоте вынужденных колебаний вибросушилки, равной 148,6 с⁻¹ (1420 об/мин), при установке ее на виброизоляторы модели ОВ 30-2-2 наблюдается увеличение коэффициента передачи: при $P_2 = 1250$ кГц до 7,1; при $P_2 = 1500$ кГц до 2,5; при $P_2 = 1750$ кГц до 1,9; при $P_2 = 2000$ кГц до 1,2 (зарезонансный режим работы); при $P_2 = 1000$ кГц до 7,5 (дорезонансный режим работы). При установке вибросушилки на виброизоляторы модели ОВ 30-1-2 снижение коэффициента передачи наблюдается начиная с $P_2 = 1500$ кГц до 0,8 и затем он уменьшается до 0,41 при $P_2 = 2000$ кГц (зарезонансный

режим работы). При установке вибросушилки на виброизоляторы модели ОВ 30-1-1 снижение коэффициента передачи наблюдается во всем исследуемом диапазоне P_2 начиная с 0,65 при 1000 кГц и затем он уменьшается до 0,21 при $P_2=2000$ кГц (зарезонансный режим работы).

Схема С. Абсолютно жесткое основание. Система виброизоляции без демпфирования:

$$T(p) = \sqrt{\frac{1}{\left(1 - \frac{p^2}{\omega_2^2}\right)^2}} \quad (8)$$

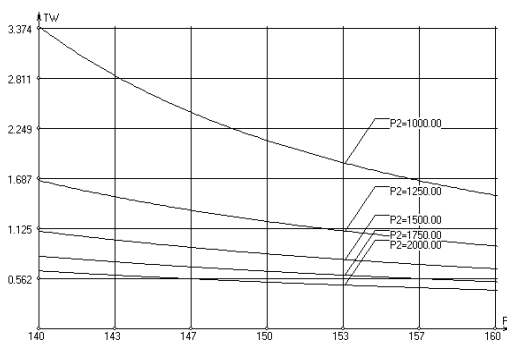


Рис.5

Анализируя полученные результаты исследований по схеме С, можно сделать следующие выводы. На частоте вынужденных колебаний вибросушилки, равной $148,6 \text{ с}^{-1}$ (1420 об/мин), при установке ее на виброизоляторы модели ОВ 30-2-2 наблюдается увеличение коэффициента передачи при всех значениях P_2 , что не позволяет вести технологический процесс сушки на данных виброизоляторах. При установке вибросушилки на виброизоляторы модели ОВ 30-1-2 (рис.5 – коэффициент передачи системы «вибросушилка на виброизоляторах типа ОВ 30-1-2» при установке ее на абсолютно жесткое основание и при наличии вязкого демпфирования в системе виброизоляции: P_2 (var 1000...2000 кГц); $C_2=15657$ кГц/см

($f=16$ Гц; $\omega=100,48 \text{ с}^{-1}$); $D_2=0,05$) снижение коэффициента передачи наблюдается начиная с $P_2 = 1500$ кГц до 0,9 и затем он уменьшается до 0,48 при $P_2 = 2000$ кГц (зарезонансный режим работы). При установке вибросушилки на виброизоляторы модели ОВ 30-1-1 снижение коэффициента передачи наблюдается во всем исследуемом диапазоне P_2 начиная с 0,65 при 1000 кГц и затем он уменьшается до 0,26 при $P_2= 2000$ кГц (зарезонансный режим работы).

ВЫВОДЫ

1. Разработаны математические модели расчета систем виброизоляции для аппаратов с горизонтально расположенным вибрототком, позволяющие рассмотреть виброизолирующую установку этих аппаратов на абсолютно жесткое основание производственных помещений, а также создана программа расчета на ПЭВМ динамических характеристик этих систем для оптимального подбора параметров виброизоляторов под конкретное основание.

2. Расчет, выполненный на основе вышеизложенных теоретических положений, показал, что система виброзащиты с виброизоляторами типа ОВ 30-1-1 уменьшает динамические нагрузки, передаваемые вибросушилкой на основание, в 2...3 раза и обеспечивает вибробезопасность аппаратов во всем нормируемом диапазоне частот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сажин Б.С., Кочетов О.С. Снижение шума и вибраций в производстве: Теория, расчет, технические решения.– М., 2001.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности. Поступила 28.02.07.