

Особенности расчета виброизолирующих опор грохотов

Для снижения динамических нагрузок, передаваемых вибрационным грохотом на фундамент, перекрытие или поддерживающие конструкции, в качестве упругих элементов чаще всего применяют цилиндрические винтовые пружины малой жесткости I класса. Целью автора является раскрытие возможностей улучшения технических характеристик грохотов.

Ил. 5. Библиогр.: 5 назв.

Автор сразу хочет поставить в известность слушателей, что доклад является простейшим примером, позволяющим перенести полученные выводы на широкий класс более сложных вибрационных механизмов с симметричной и ассиметричной схемой компоновки и нагрузки пружин для одномассных и двухмассных систем. Анализ патентов и технической литературы с описанием различных типов вибрационных устройств показывает, что компоновка входящих в их состав пружин зачастую определена возможностью обеспечить выполнение расчетов иногда в ущерб технической рациональности, что отражается на технических характеристиках изделия. В общем случае амплитуда колебаний плиты, на которой расположен вибровозбудитель направленных колебаний вычисляется по формуле [1]

$$A = \frac{K}{G_{в.ч.}} = \frac{Ge}{G_{в.ч.}}, \quad (1)$$

где K – статический момент дебаланса; G – вес дебаланса (дебалансов); $G_{в.ч.}$ – вес всех вибрирующих частей; e – смещение центра тяжести (эксцентриситет) дебаланса.

Согласно рис. 1а амплитуда колебаний плиты будет максимальной. На рис. 1б концы пружин защемлены в гильзах, одна из которых приварена к вертикальному основанию, а другая - к плите. Пружины находятся в свободном состоянии. При колебании плиты влево пружины сжимаются, вправо – растягиваются. Дополнительные затраты энергии на сжатие и растяжение пружин одинаковы, но амплитуда колебаний плиты будет меньше также и за счет вовлечения в колебательный процесс самих пружин и гильз приваренных к плите. Рис. 1в получен поворотом рис. 1б против часовой стрелки на 90° и соответствует упрощенной схеме грохота. Пружины в статическом состоянии сжаты весом плиты. При колебании плиты вниз сила сжатия пружин возрастает, при колебании вверх уменьшается. Формула (1) не дает различия в амплитуде колебаний плиты в вариантах согласно рис. 1б и 1в.

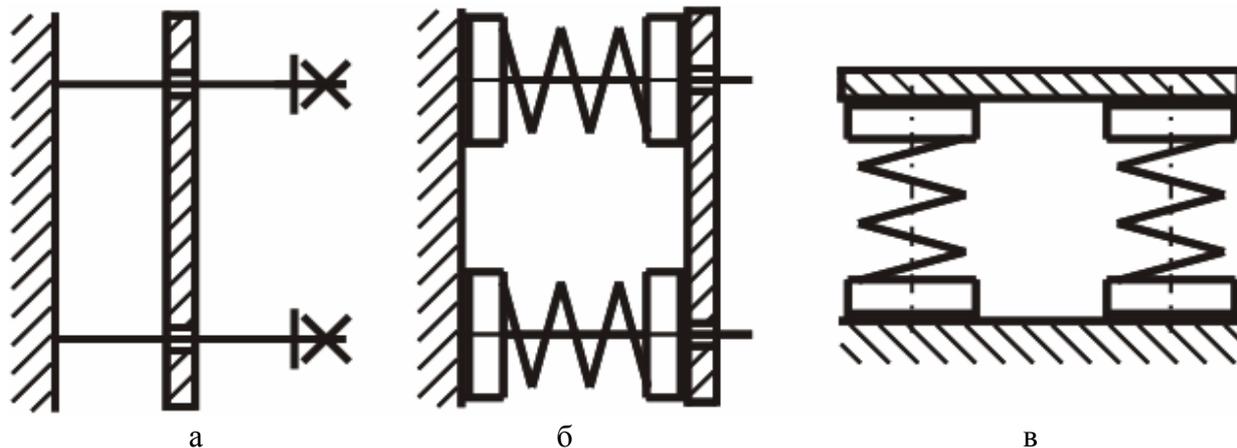


Рис. 1. Статические модели: а – без пружин, б – с пружинами, в – для грохота.

Существует всего три способа уменьшения вибрации – устранение источника вибрации, демпфирование и уменьшение жесткости для изменения критической частоты колебаний. Рассмотрим возможности, которые можно использовать в двух последних.

Производители грохотов на постсоветском пространстве предлагают конструкции, содержащие минимум 4 и максимум 24 пружины (рис. 2) в виброизолирующих опорах, но ни одно из рекламируемых преимуществ не подтверждено патентами, а те случаи, где есть на них ссылки, не имеют отношения к рекламируемым характеристикам. Зарубежными производителями уже применяется решение, которое еще не нашло отражения в отечественной практике - использование изолирующей рамы (рис. 3), что уменьшает по меньшей мере на 90% динамические нагрузки, передаваемые на стальные конструкции или фундаменты (рис. 4 и 5). Для тяжелых грохотов, а так же при их установке в виброчувствительных зданиях дополнительно применяются гидравлические амортизаторы.

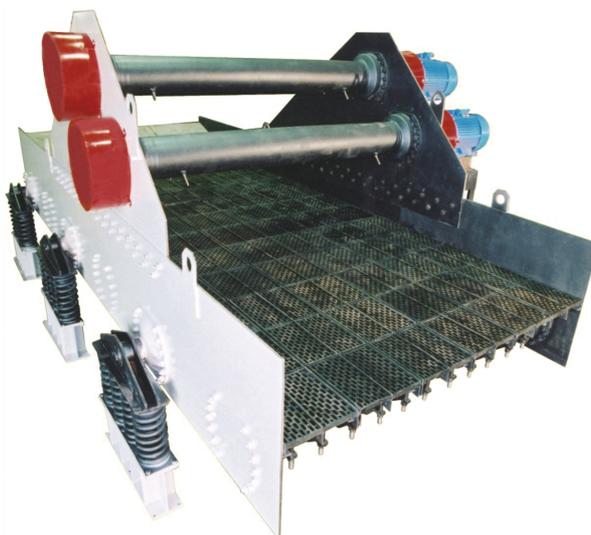


Рис. 2. Грохот ГРС 3000х7000Р РИФ, ЗАО НПО «РИФ», Россия



Рис. 3. Изолирующая рама



Рис. 4. Грохот фирмы HAVER, Германия

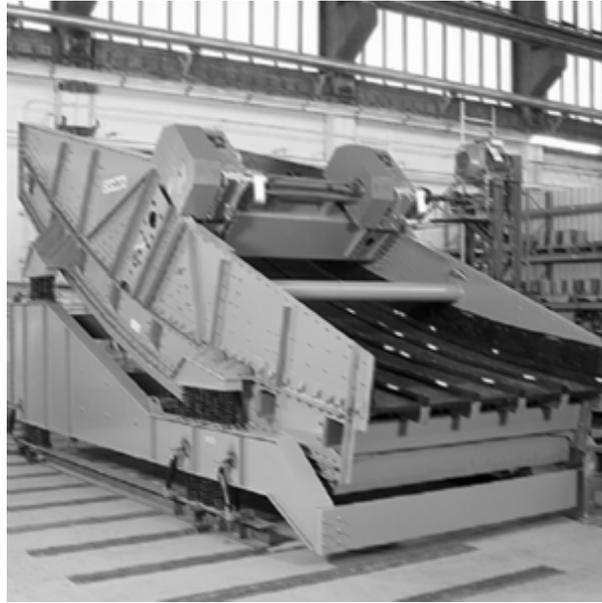


Рис. 5. Грохот фирмы Schenck Process, Германия

Автором ставилась задача получения расчетных зависимостей, которые позволяют более точно выполнить расчеты пружин виброизолирующих опор, это особенно важно для грохотов с тяжелыми условиями работы, а также исследовать влияние количества пружин в виброизолирующих опорах грохотов на улучшение их технических характеристик.

Сила сжатия P_1 пружины виброизолирующей опоры грохота в статике равна весу всех вибрирующих частей короба грохота деленному на количество пружин. В динамике, как показано на рис. 6, при колебании короба грохота вниз необходимо преодолеть дополнительную силу сжатия каждой пружины, которая будет равна $P_{2ВН} - P_1$, при колебании вверх изменение силы сжатия пружины будет составлять $P_1 - P_{2ВВ}$. Именно это обстоятельство использовано при доказательстве формулы (2). На диаграмме A – амплитуда колебаний короба грохота. В известных способах расчетов это обстоятельство не учитывается. Сами расчеты обычно выполняются последовательно, отсутствует формула, отражающая количество пружин в виброизолирующих опорах грохотов.

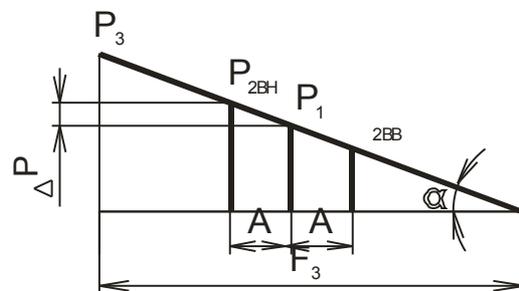


Рис 6. Силовая диаграмма пружины

Используя путь доказательства, выполненный автором в [2], получим формулу расчета силы сжатия пружины виброизолирующей опоры грохота при достижении точки,

соответствующей максимальному перемещению при колебаниях вниз по отношению к статическому положению

$$P_2 = \frac{\frac{G_{\text{в.ч.}}}{n} + \sqrt{\left(\frac{G_{\text{в.ч.}}}{n}\right)^2 + \frac{4P_3 G e}{F_3 n}}}{2}, \quad (2)$$

где $G_{\text{в.ч.}}$ – вес всех вибрирующих частей; n – количество пружин; P_3 – сила пружины при максимальной деформации; G – вес дебаланса (дебалансов); e – смещение центра тяжести (эксцентриситет) дебаланса; F_3 – максимальная деформация пружины при соприкосновении витков.

Грохот работает в зарезонансном режиме, но при включении и выключении электродвигателя привода дебаланса в период перехода через состояние резонанса, когда амплитуда колебаний многократно возрастает, пружины меньшей жесткости снижают резонансную частоту колебаний [3] и соответственно возмущающую силу дебаланса на этой частоте, что уменьшает динамическую нагрузку на фундамент, а также время затухания колебаний после выключения двигателя.

Жесткость пружины определяется известным выражением

$$z = \frac{P_3}{F_3}.$$

Чем меньше жесткость пружины, тем меньше угол α (см. рис. б) и меньше изменение силы деформации пружины в пределах между крайними положениями амплитуды колебаний.

Согласно формулы (2) увеличение количества пружин и уменьшение их жесткости позволяет уменьшить разницу между силой пружины при начальной и рабочей деформациях, которая и вызывает динамическую нагрузку на фундамент.

Хорошо владея расчетами пружин можно получить заведомо нужный результат, но для непредвзятого примера, последующего сопоставления и анализа была условно взята сначала предварительная нагрузка на все пружины 20000 Н, а не пружина с заведомо подобранными характеристиками. Для уменьшения количества расчетов использовался унифицированный ряд цилиндрических пружин сжатия широко применяемых в металлургии, машиностроении и других отраслях промышленности [4]. Сопоставляемые данные сведены в таблицу. При выборе пружин для сохранения одинаковых условий максимальное количество рабочих витков пружины выбиралось таким образом, чтобы высота пружины при предварительной деформации не превышала ее наружный диаметр. Для восприятия предварительной нагрузки четырьмя пружинами нагрузка на каждую должна быть 5000 Н. Этому значению соответствует пружина из проволоки диаметром 16

мм, наружным диаметром 100 мм и числом рабочих витков 4,5. Эта пружина не попала в таблицу, т.к. пружина из проволоки диаметром 18 мм и наружным диаметром 150 мм имеет более чем в 3 раза меньшую жесткость и будет предпочтительнее. Неудовлетворительные результаты для случая с двадцатью четырьмя пружинами связаны с тем, что в [3] отсутствуют пружины из проволоки диаметром 9 мм. Нужно учитывать, что в этом справочнике отсутствуют также пружины из проволоки диаметром 17, 15, 13 и 7 мм, хотя они стандартизованы и могут быть рассчитаны путем последовательных вычислений по формулам [5] с предварительным выбором исходных размеров и параметров по таблицам. Численные значения в последнем столбце таблицы получены умножением значений в двух предыдущих столбцах при условной величине амплитуды колебаний короба грохота 1 мм, т.к. этого для общей оценки в рамках обсуждения достаточно и не требуется вводить в таблицу дополнительные столбцы с расчетными параметрами. Аналогичным образом необходимо поступать при расчетах пружин изолирующей рамы.

Таблица – Зависимость динамической нагрузки на фундамент от количества пружин в виброизолирующих опорах

Диаметр проволоки, мм	Наружный диаметр пружины, мм	Число рабочих витков	Сила при рабочей деформации, Н	Кол. пружин	Жесткость пружины Н/мм	Динамическая нагрузка на фундамент, Н
18	150	6,0	5000	4	74,6	298
16	210	7,0	2500	8	12,6	101
10	120	6,5	1250	16	11,4	182
8	90	6,5	833	24	11,2	269
5	60	6,5	312,5	32	5,7	182

Для инерционных грохотов с круговой траекторией колебаний короба без специальных расчетов не обойтись. Необходимо обеспечить одинаковую жесткость пружин в осевом и поперечном направлениях. Важную роль играет, свободны (зашлифованы) концы пружины или защемлены (вкручены в гильзы). Для пружины со свободными концами полное число витков больше на 1,5 витка от числа рабочих витков, с защемленными – на 3,5 витка. Необходимость в точности расчетов для пружин ответственного назначения косвенно подтверждается тем фактом, что, например, во внутренних пружинах тележек колесных пар грузовых вагонов применяют нестандартный наружный диаметр пружины 132 мм и нестандартное число рабочих витков 6,45. Разница со стандартным значением 6,5 составляет менее 1%, но оправдана для обеспечения надежности подвижного состава, т.к. на тележке находится 14 таких пружин и симметричный разброс допусков их параметров усредняется, приближаясь к расчетным значениям, хотя для единичной пружины такое число витков вызовет удивление, учитывая

технологическую сложность получения параметров соответствующих расчетным. Кроме этого циклическая долговечность пружин для вагонов обеспечивается упрочнением наклепом дробью после термической обработки, что дает еще и очистку от окалины. Статическая нагрузка на такую пружину составляет 51% от силы сжатия при максимальной деформации. Амплитуда колебаний вагона почти на порядок превышает амплитуду колебаний грохота в рабочем режиме, поэтому применение рабочей деформации равной 75% от силы пружины при максимальной деформации, рекомендуемой в [4], не должно снижать циклическую долговечность пружины.

При строительстве цехов металлургических заводов 30-50 лет назад грохоты снабжались иногда полным комплектом рабочих чертежей, по которым выполняется их ремонт на предприятиях собственными силами до настоящего времени. Их пружины имеют рабочую деформацию равную 26% от силы пружины при максимальной деформации. Изготовление таких пружин из проволоки увеличенного сечения вызывает определенные технологические трудности и проблемы с точностью достижения характеристик, соответствующих расчетным. Несмотря на сложную технологию производства, пружины в процессе эксплуатации проседают. Но при использовании дорогого и качественного исходного материала пружины сохраняют упругость.

Выводы

1. При использовании в грохоте унифицированных пружин сжатия в большинстве случаев меньшую динамическую нагрузку на фундамент можно получить при их количестве равном восьми.
2. Критерием для достижения минимальной жесткости пружины является возможность применения пружин, у которых сила при рабочей деформации ближе к максимально возможной рабочей деформации, составляющей 75% от силы пружины при максимальной деформации и пружин максимального наружного диаметра и шага из имеющегося ряда. При этом увеличивается индекс пружины (отношение среднего диаметра пружины к диаметру проволоки), что уменьшает концентрацию напряжений на внутренних волокнах витка и улучшает условия навивки пружины.
3. С уменьшением диаметра проволоки уменьшается диапазон наружных диаметров унифицированных пружин, что снижает возможность получения удовлетворительного результата.
4. Если сила пружины при рабочей деформации равна силе пружины при максимально возможной рабочей деформации, то дальнейшее увеличение количества пружин не даст снижения динамической нагрузки на фундамент.
5. Применение пружин с нестандартизованным наружным диаметром, имеющих силу при

рабочей деформации равную 75% от силы пружины при максимальной деформации, можно получить максимальное снижение динамической нагрузки на фундамент при любом количестве пружин, но при увеличении количества пружин возрастает их общая масса, что незначительно, но уменьшает амплитуду колебаний короба грохота.

6. Применение большего количества пружин меньших размеров повышает точность обеспечения общей нагрузочной характеристики за счет снижения допусков на размеры и параметры при изготовлении.

7. Переход к диаметрам патентованной проволоки, допускающим холодную навивку без необходимости термообработки, повышает сходимости технологических возможностей с расчетными параметрами.

8. Уменьшение жесткости пружин автоматически увеличивает (до нескольких процентов) амплитуду колебаний короба грохота и существенно снижает динамическую нагрузку на фундамент.

Библиографический список

1. Колодзий И.И. Машинист бетоноукладчика и формовочного оборудования / 3-е изд.- М.: Высшая школа, 1970.- С.172-173.
2. Мельник В.А. Особенности расчета вибрационных устройств / Металлургическая и горнорудная промышленность, 2011. - № 5. - С.84-86.
3. Вайсберг Л.А. Проектирование и расчет вибрационных грохотов / М., Недра, 1986, - С.40.
4. Унифицированные пружины сжатия. Справочник / Прохоренко И.Ф., Гавриленко Н.Г., Ильин А.Д., Томашев Л.А. / М., Металлургия, 1982.- 648 с.
5. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя / В 3-х т. Т3. 5-е изд.- М.: Машиностроение, 1979.- С.104-106.