

ОБЗОР ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ БОРЬБЫ С ВИБРАЦИЕЙ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Устименко Р. С., Марусич К. В.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

К одному из вредных производственных факторов относится - вибрация. Не выполнение нормативных требований к нему при проектировании современного машиностроительного предприятия может привести к развитию вибрационной болезни у рабочих. Поэтому необходимо стремиться, чтобы в процессе обучения студенты технического профиля обязательно знакомились с условиями труда предприятий связанных с их будущей профессией.

Снижение вибраций машин и механизмов достигается либо воздействием на источник вибраций - переменные силы в конструкции, либо воздействием на колебательную систему, в которой эти силы действуют.

С точки зрения охраны труда наибольший интерес представляют вибрации вблизи резонансов [1-3]. В этом случае задача упрощается, так как машины и агрегаты можно рассматривать как колебательные системы с одной степенью свободы. При определении основных направлений борьбы с вибрацией можно ограничиться анализом уравнений вынужденных колебаний такой системы, которую можно представить в виде сосредоточенной массы, покоящейся на пружине, другой конец которой жестко закреплен. Система, кроме того, обладает трением. В этой системе элементы упругости, массы и трения отделены друг от друга. Такого рода системы именуется системами с сосредоточенными параметрами.

Уравнение колебаний в этом случае имеет вид

$$m\ddot{x} + \mu\dot{x} + qx = F_m \sin \omega t, \quad (1)$$

где m - масса системы, кг;

q - жесткость пружины, численно равная силе, которую необходимо приложить к пружине, чтобы вызвать ее единичную деформацию, Н/м;

x - текущее значение колебательного смещения пружины, м;

\dot{x} - текущее значение колебательной скорости, м/с;

\ddot{x} - текущее значение колебательного ускорения массы, м/с²;

μ - постоянная (коэффициент трения), Нс/м;

F_m - амплитуда возмущающей силы, Н;

ω - частота возмущающей силы, рад/с.

На рисунке 1 приведены резонансные кривые, показывающие, как изменяются амплитуды скорости и смещения вынужденных колебаний при изменении частоты внешней силы при различных значениях активных потерь в системе. Чем больше трение, тем слабее выражен максимум резонансной кривой. Следовательно, с увеличением частоты ω сопротивление системы

возрастает, и колебательная скорость вибрации падает. Система как бы стремится к неподвижности.

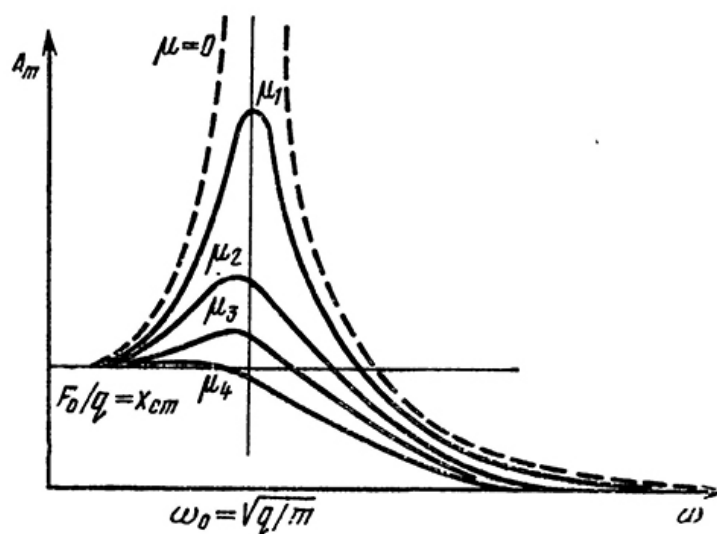


Рисунок 1 - Резонансные кривые

При конструировании машин и проектировании технологических процессов предпочтение должно отдаваться таким кинематическим и технологическим схемам, при которых динамические процессы, вызванные ударами, резкими ускорениями и т. п. были бы исключены или предельно снижены. Так, замена кулачковых и кривошипных механизмов равномерно вращающимися, а также механизмами с гидроприводами в значительной мере способствует снижению вибраций. К этому же приводит замена ковки и штамповки прессованием, ударной правки вальцовкой, пневматической клепки и чеканки гидравлической клепкой и электросваркой. В настоящее время разработаны модификации известных технологических процессов, которые имеют по сравнению с исходными меньшую виброактивность (штамповка резиной вместо обычной штамповки, прессование на гидравлических прессах вместо обработки на листоштамповочных молотах, применение гвоздильных прессов вместо гвоздильных станков и т. д.).

При конструировании машин и агрегатов необходимо изыскивать наилучшие конструктивные решения для безударного взаимодействия деталей и плавного обтекания их воздушными потоками (скошенные штампы у кузнечно-прессового оборудования, ножевые валы с винтообразной режущей кромкой станков, замена трансмиссионных приводов машин и агрегатов электродвигателями и т. д.). Для снижения уровня вибраций редукторов целесообразно применение шестерен со специальными видами зацеплений — глобоидным, шевронным, двушеvronным, конхоидальным вместо обычных шестерен с прямым зубом. Большое значение при этом имеет повышение класса точности обработки и чистоты поверхности шестерен. С этой же целью производят подбор зубчатых пар, что позволяет дополнительно снизить уровень вибраций на 3-4 дБ.

Для снижения уровня вибраций шпиндельных узлов вместо подшипников качения желательно использовать подшипники скольжения. Большое значение при их монтаже имеет выбор рабочих режимов.

Для ослабления вибраций существенное значение имеет исключение резонансных режимов, т. е. отстройки собственных частот агрегата и его отдельных узлов и деталей от частоты вынуждающей силы. Определение собственных частот отдельных конструктивных элементов производится либо расчетным путем, либо экспериментально. В первом случае расчет производится по известному значению массы и упругости системы.

При экспериментальном определении собственных частот отдельных конструктивных элементов используют специальные стенды, на которых указанные элементы подвергаются внешним знакопеременным силовым воздействиям различных частот. В случае, когда частота динамического воздействия близка к собственной частоте исследуемой колебательной системы, наблюдаются так называемые биения, при которых результирующая амплитуда колебаний (собственных плюс вынужденных) периодически увеличивается или уменьшается. Используя запись колебаний (осциллограмму процесса), можно определять собственные частоты практически любых элементов конструкции.

С точки зрения снижения вибраций наиболее предпочтительным является использование в качестве конструктивных материалов типа: пластмасс, дерева, резины. Так, в редукторах используют шестерни из капрона, текстолита и дельта-древесины. В некоторых случаях оказывается возможным также использовать шестерни из твердой резины. В результате происходит снижение вибраций оснований и фундаментов машин, а следовательно, снижается вибрация рабочих мест. На рисунке 2 показан шпиндельный узел станка с вибродемпфирующей втулкой. Срок службы подшипниковых узлов с вибродемпфирующими элементами значительно выше обычных.

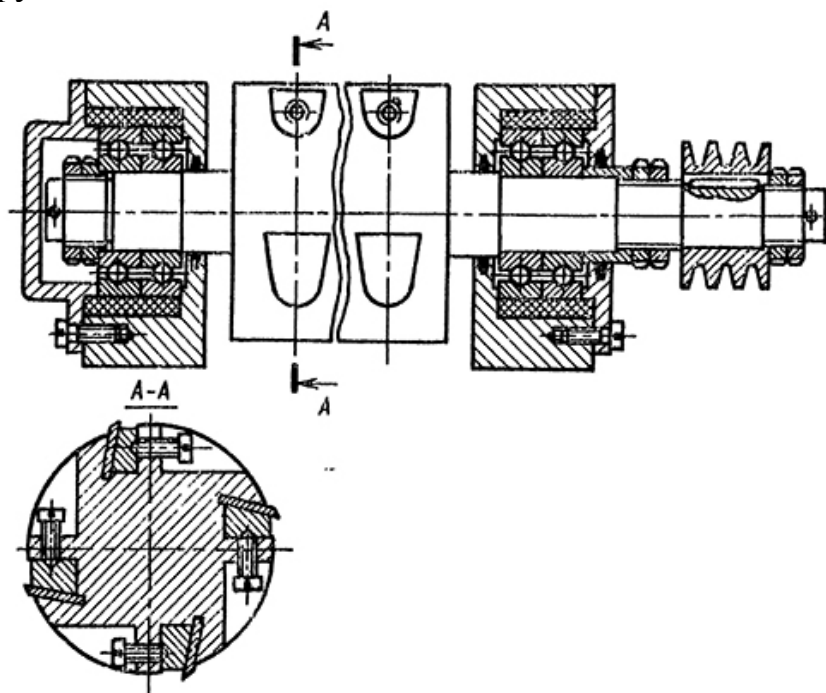
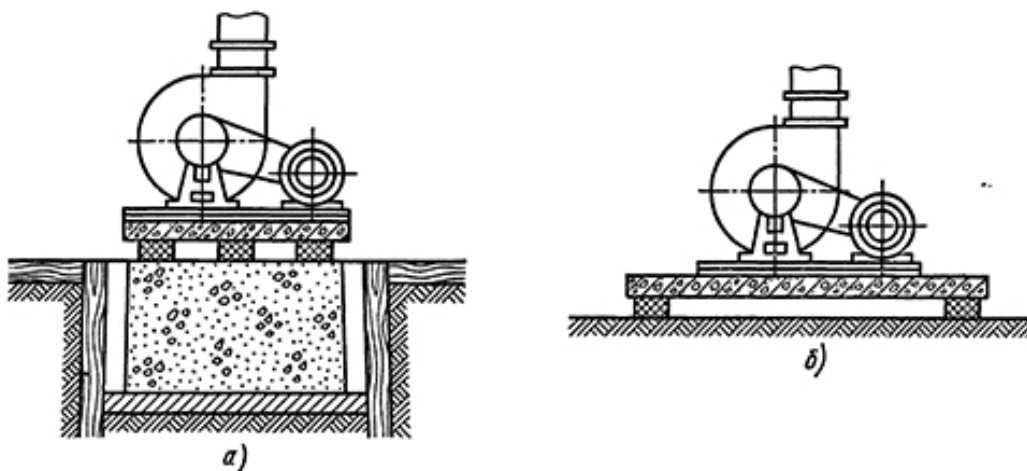


Рисунок 2 - Шпиндельный узел станка с вибродемпфирующей втулкой

В том случае, когда применение полимерных материалов в качестве конструктивных не представляется возможным, для снижения вибраций используют вибродемпфирующие покрытия. Действие покрытий основано на ослаблении вибраций путем перевода колебательной энергии в тепловую при деформациях покрытий. Эффективное действие покрытий наблюдается на резонансных частотах элементов конструкций агрегатов и машин.

Чаще всего виброгашение реализуется путем установки агрегатов на самостоятельные фундаменты. Массу фундамента подбирают таким образом, чтобы амплитуда колебаний подошвы фундамента в любом случае не превышала от 0,1 до 0,2 мм, а для особо ответственных сооружений 0,005 мм. Для небольших объектов между основанием и агрегатом устанавливают массивную опорную плиту (рисунок 3).



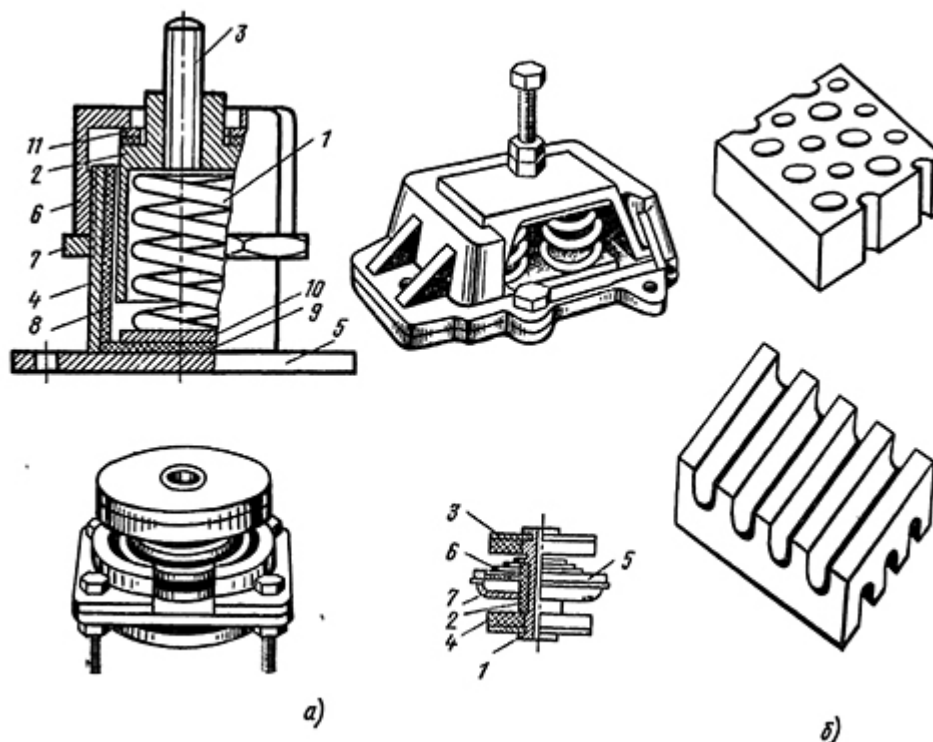
а - на фундаменте и на грунте; *б* - на перекрытии

Рисунок 3 - Установка агрегатов на виброгасящие основания

Одним из способов увеличения реактивного сопротивления колебательных систем является установка виброгасителей. Наибольшее распространение в машиностроении получили динамические гасители колебаний, уменьшающие уровень вибраций защищаемого объекта за счет воздействия на него реакций дополнительных колебательных систем. Недостатком динамического виброгасителя является то, что он действует только при определенной частоте, соответствующей его резонансному режиму колебаний. Даже незначительные изменения частоты вибраций агрегата резко снижают эффективность действия виброгасителя, так как выводят его из резонансного режима работы. Такие виброгасители применяются в агрегатах, имеющих характерный постоянный во времени дискретный спектр вибрации, т. е. в агрегатах с возмущающим воздействием практически одной частоты.

Другим способ уменьшения уровня вибрации защищаемого объекта является виброизоляция. Она осуществляется посредством введения в колебательную систему дополнительной упругой связи, препятствующей передаче вибраций от машины - источника колебаний к основанию или смежным элементам конструкции. Эта упругая связь может также использоваться для ослабления передачи вибраций от основания на человека, либо на защищаемый агрегат.

Для виброизоляции машин с вертикальной возмущающей силой применяют виброизолирующие опоры трех типов: резиновые, пружинные и комбинированные (рисунок 4).



a - пружинные; *б* - резиновые виброизоляторы

Рисунок 4 - Виброизолирующие опоры

Пружинные виброизоляторы по сравнению с резиновыми имеют ряд преимуществ. Они могут применяться для изоляции как низких, так и высоких частот (обеспечивают любую деформацию), дольше сохраняют постоянство упругих свойств во времени, хорошо противостоят действию масел и высокой температуры, относительно малогабаритны. Однако они могут пропускать колебания высоких частот, так как материал пружин (сталь) имеет малые внутренние потери. Поэтому пружинные виброизоляторы в этом случае рекомендуется устанавливать на прокладки из упругих материалов типа резины (комбинированный амортизатор).

При использовании виброизоляторов типа резиновых прокладок следует предусматривать меры для обеспечения деформации в горизонтальной плоскости. Для этого резиновые виброизоляторы должны либо иметь форму ребристых или дырчатых плит, либо разбиваться на ряд параллельно установленных виброизоляторов.

Виброизоляция будет эффективной, если фундамент (или перекрытие), на котором производится ее монтаж, обладает достаточной массивностью.

В последнее время широкое распространение в промышленности получила так называемая активная виброзащита. Она предусматривает введение дополнительного источника энергии (сервомеханизма), с помощью которого осуществляется обратная связь от изолируемого объекта к системе

виброизоляции. Это приводит к быстрому затуханию колебаний в виброизолированной системе при внешних воздействиях.

Таким образом, из проведенного обзора следует, что основными направлениями борьбы с вибрацией машин и оборудования являются:

- снижение вибрации в источнике возникновения посредством снижения или ликвидации действующих переменных сил;

- отстройка от режима резонанса путем рационального выбора приведенной массы или жесткости системы;

- вибродемпфирование — увеличение механического импеданса колеблющихся конструктивных элементов путем увеличения активных потерь (трения) при колебаниях вблизи режимов резонансов;

- динамическое гашение колебаний — увеличение механического импеданса узла, механизма, агрегата путем внесения в систему дополнительных реактивных импедансов.

Список литературы

1. Санитарные нормы СН 2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки" (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г. N 36).

2. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1) Постановление Госстандарта СССР от 06.06.1983 N 2473.

3. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.566-96 "Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий" (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г. N 40).