

УДК 62-11

РЕЗОНАНСНЫЕ ПОРШНЕВЫЕ МАШИНЫ Алейников И.А., Лисицин Р.Е., Мицкевич В.Г.

В технике широко используется явление резонанса. Как известно, в машине, работающей в режиме резонанса, заданная амплитуда достигается при минимальном силовом взаимодействии со стороны возбудителя колебаний [1].

В чем же основная идея использования эффекта резонанса в поршневых машинах? С целью ответа на этот вопрос рассмотрим следующее. Построим зависимость амплитуды F_0 гармонической силы $F=F_0\sin(\omega t)$, приложенной к грузу массой m , расположенному между двумя пружинами эквивалентной жесткости $2c$, от частоты возбуждения ω (рис. 1). Эта зависимость приведена на графике (рис. 2). Получен ожидаемый результат – при резонансе ($\omega=\omega_{рез}$), заданная амплитуда колебаний достигается при минимальном силовом возбуждении. Упругие силы уравниваются инерционными, а энергия возбудителя колебаний расходуется на преодоление вредных сопротивлений и совершение полезной работы.

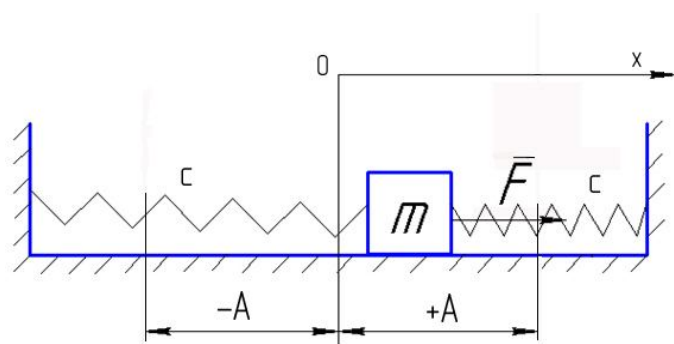


Рис.1

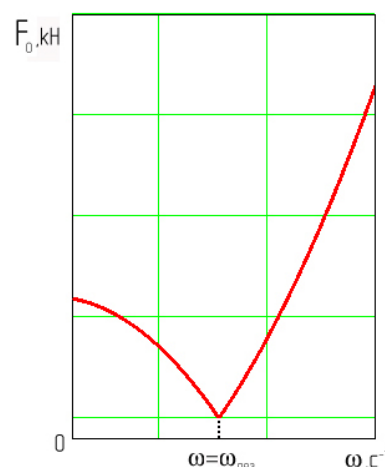


Рис.2

Рассмотрим теперь поршневую машину двойного действия, широко используемую на практике, кинематическая схема которой представлена на схеме (рис. 3).

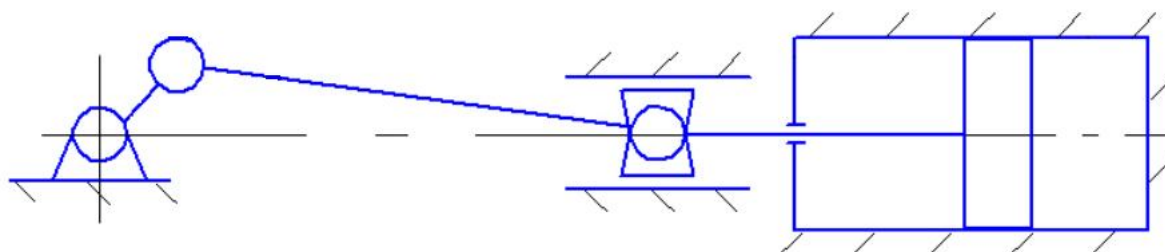


Рис.3

Рассмотрим индикаторную диаграмму поршневого компрессора (рис. 4). Выделим слева от точки P_H часть индикаторной диаграммы, симметричную правой. Здесь P_H – давление нагнетания. Вместе с правой частью, выделенная левая, в дальнейшем будет называться компрессионной или пружинной составляющей (затемненная область 1), а оставшаяся область 2 – составляющей производительных потерь индикаторной диаграммы.

Легко провести аналогию между схемами, изображенными на рисунках (рис. 1 и 3). В обоих случаях грузы колеблются между пружинами. В случае компрессора роль пружины выполняет газ в цилиндре, с характеристикой, соответствующей компрессионной составляющей индикаторной диаграммы – область 1, а роль силы, возбуждающей колебания – сила полезного сопротивления, благодаря которой осуществляется подача газа к потребителю, соответствующая производительной составляющей – область 2 (рис. 4).

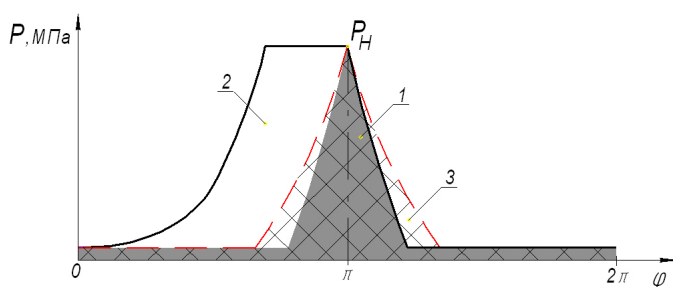


Рис.4

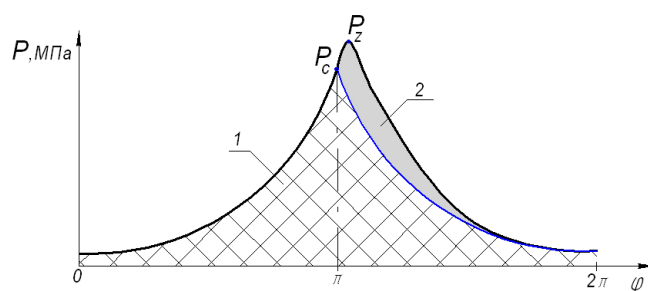


Рис.5

Отметим, что случай поршневого двигателя аналогичен случаю компрессора. Типичный для двухтактного дизеля пример графика зависимости давления в цилиндре двигателя от угла поворота кривошипа φ представлен графиком (рис. 5). Выделим справа от точки P_c часть индикаторной диаграммы, симметричную левой. Здесь: P_c – максимальное давление сжатия; P_z – максимальное давление сгорания. Вместе с левой частью, выделенная правая, в дальнейшем будет называться компрессионной или пружинной составляющей (заштрихованная область 1), а оставшаяся (затемненная область 2) – производительной составляющей индикаторной диаграммы (рис.5).

Следует отметить, что реализация резонансного режима возможна не во всех конструкциях поршневых машин. В традиционно эксплуатируемых однорядных, V-образных двигателях и компрессорах достигнуть эффекта резонанса не удастся. В этих системах отсутствует восстанавливающая сила, следовательно, они не способны совершать свободные колебания. Поршень в одноцилиндровом двигателе одностороннего действия, попав в нижнюю мертвую точку, остался бы в ней в случае равенства нулю момента инерции валопровода. На практике поршневая машина имеет валопровод с ненулевым моментом инерции. Он воспринимает “лишнюю” энергию рабочих процессов в цилиндре, а потом возвращает ее, заставляя двигаться поршень и связанные с ним элементы к верхней мертвой точке. Все эти процессы сопровождаются “вредными” силовыми взаимодействиями. Эти взаимодействия практически отсутствуют в конструкциях, способных совершать свободные колебания при нулевом моменте инерции валопровода. Так, при наличии только лишь компрессионных составляющих индикаторных диаграмм и отсутствии диссипации энергии, поршневая

машина двойного действия (рис. 3) могла бы совершать колебания с амплитудой, равной радиусу кривошипа. Производительная составляющая в идеальном (линейном, допускающем суперпозицию) случае отвечала бы за компенсацию потерь энергии на трение и совершение полезной работы.

Конструкции поршневых машин, в которых может быть реализован режим резонанса, достаточно широко используются в технике, в частности – это различные компрессоры двойного действия [2], двигатели конструкции С. С. Баландина и некоторые другие [3, 4].

При резонансе, как уже отмечалось, уравниваются упругие и инерционные силы. Через валопровод, при этом, передаются только крутящие моменты, совершающие полезную работу и преодолевающие диссипативные сопротивления. Размах крутящего момента, амплитуды периодических сил, возникающих в результате взаимодействия элементов кривошипно-шатунных механизмов, на резонансе достигают своего минимума.

В качестве математической модели, используется система дифференциальных уравнений вращения валопровода и движения элементов кривошипно-шатунного механизма. Применялась оптимизационная процедура, позволяющая найти соотношение инерционных параметров и характеристик рабочих процессов, при которых достигаются минимумы соответствующих критериев качества работы поршневой машины. На графиках (рис. 6) показаны зависимости: 1 – относительный размах крутящего момента; 2 – средний квадрат силы, прижимающей поршень к стенке цилиндра в функции массы частей, движущихся поступательно.

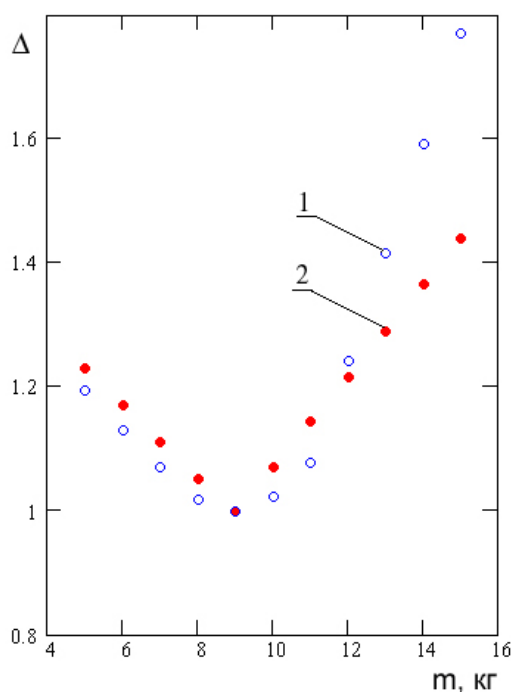


Рис. 6

Таким образом, резонансные режимы более эффективны в эксплуатации, чем нерезонансные, так как им соответствуют меньшие нагрузки и минимальная неравномерность частоты вращения. Важно отметить, что частота свободных колебаний рассмотренной системы зависит от массы частей, совершающих поступательное движение, а так же от характеристики упругости рабочего тела в

цилиндре. В эксплуатации весьма сложно изменять значение массы, но воздействовать на жесткость пружины (компрессионной составляющей индикаторной диаграммы) возможно. Параметром рабочего процесса, изменением которого можно настраивать поршневой двигатель на резонанс, является давление наддува. Увеличивая величину давления наддува, мы увеличиваем жесткость газовой пружины. При этом повышается частота свободных колебаний системы. Выбирая соответствующим образом характеристику наддува, можно добиться того, что каждый эксплуатационный режим будет резонансным.

Регулирование поршневого компрессора предлагается вести по схеме изменения объема мертвого пространства. Данный тип регулирования, является наиболее экономичным, и нашел широкое применение в компрессорах большой мощности [5]. Анализ индикаторной диаграммы поршневого компрессора показал, что при последовательном увеличении объема мертвого пространства – пружинная составляющая индикаторной диаграммы (заштрихованная область 3), также возрастает (рис.4). Отсюда следует, что при увеличении объема мертвого пространства, увеличивается жесткость упругой характеристики колебательной системы поршневого компрессора. Здесь также, путем изменения жесткости, можно добиться, чтобы каждый эксплуатационный режим был резонансным.

Резонно предположить, что наибольшего эффекта от эксплуатации поршневых двигателей и компрессоров на резонансных режимах можно достигнуть в случае небольших отклонений угловой скорости и нагрузок от своих средних значений. В качестве примеров можно привести судовые дизели, стационарные дизельные электростанции и т. п. Настройка на резонансные режимы в первую очередь именно этих машин, позволит повысить их коэффициент полезного действия и срок службы.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.К. Асташев, В.И. Бабицкий, И.И. Вульфсон и др. Динамика машин и управление машинами: Справочник. М.: Машиностроение, 1988-240 с.
2. Пластинин П. И. Поршневые компрессоры. Том 1. – М.: Колос, 2000. – 456 с.: ил.
3. И.А. Алейников, А.С. Космодамианский, Н.М. Луков и др. Поршневая резонансная машина: Патент на изобретение № 2263789, 10.11.2005 г.
4. И.А. Алейников, А.С. Космодамианский, Н.М. Луков и др. Поршневая резонансная машина: Патент на изобретение № 2264540, 20.11.2005 г.
5. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. М.: Энергия, 1977. 424 с.: ил.

Российский государственный открытый технический университет путей сообщения (РГОТУПС), Москва, Россия.

Поступила: 16.03.08.