

лиза полученных пресс-форм и различных деталей. Эти системы позволят более полно и четко раскрывать данные об изделии перед процессом производства, предоставляя только ту часть информации, которая нужна для того или иного технологического процесса или стадии инженерного анализа изделия.

Таким образом, последний этап позволит более эффективно использовать технологическую оснастку предприятия, включая станки с численно-программным управлением (ЧПУ), поскольку полученные данные при проектировании на САПР позволят вывести производство на концептуально новую ступень.

В заключение важно сказать, что продукция компании АСКОН удовлетворяет требованиям к САПР, заявленным в этой статье. Использование данной системы позволит многократно сократить время, затрачиваемое на разработку того или иного изделия на малых предприятиях.

УДК 681.5.073

Литература

1. Управление жизненным циклом продукции / А.Ф. Колчин [и др.] М.: Анахарсис, 2002. 304 с.
2. Концепция развития CALS – технологий в промышленности России / Е. В. Судов [и др.]; НИЦ CALS – технологий «Прикладная логистика». М., 2002. 100 с.
3. Учуватов М.С., Дектерев М.Л., Трегубов С.И. Критерии выбора CAD пакетов для проектирования электронных средств // Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. ст. Красноярск, 2010. С. 595-598.
4. Киселев В.И., Трегубов С.И. Автоматизированное формирование конструкторской документации по ЕСКД // Там же. С. 571-573.

В.В. Буданов, С.П.Ереско, С.М. Шевцов*

СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ СИСТЕМАХ

Представлена схема автоматического регулирования крутильных нагрузок на коленчатом вале двигателя, содержащая датчики вибрации, вычислительный процессор, пульт управления двигателем и дополнительной нагрузкой.

Ключевые слова: дизель-генератор, валопровод, вибрация, виброзащита, датчик вибрации.

Одним из основных направлений развития современной техники является автоматизация всех видов производства. Нормальное безотказное функционирование такого производства возможно лишь при условии организации многоуровневой системы управления, построенной на базе электронно-вычислительной техники. Использование совместной работы машин и управляющих ЭВМ, применение необходимых алгоритмов и программ – одна из многих и важных задач. При этом также должны быть решены задачи устойчивости движения рабочих органов, рассмотрены колебательные процессы, возникшие в период их движения, и рассмотрены задачи, связанные с оптимальными законами движения рабочих органов, разработаны алгоритмы движения этих органов. Решение подобных задач, как правило, возможно только с помощью ЭВМ.

В последнее десятилетие существенно повысились рабочие скорости машин, что привело не только к увеличению динамических нагрузок на звенья механизмов и рабочие органы машины, но и к существенному увеличению уровня вибраций и порождаемого вибрациями шума. Вибрация

сопутствует работе любой машины. Поэтому в последние годы проблема виброзащиты машин выходит на новый уровень отношений «человек – машина – среда».

Повышение энергетических, силовых и скоростных характеристик машин автоматического действия, высокие требования к их точности и надежности обуславливают развитие в ближайшие годы методов динамического исследования и расчета машин как в стационарных (установившихся), так и в переходных режимах.

Большое значение для техники имеет развитие динамики машин с переменной массой звеньев, к примеру, энергетические установки с быстро меняющейся нагрузкой на электрогенераторе. При этом не только нагрузки могут быть произвольно изменяющимися, но и способы автоматического их изменения с целью улучшения работы всего комплекса или парка энергомашин.

Как известно, вибрация сопутствует работе всех деталей машин и часто оказывается причиной, сдерживающей развитие в той или иной области техники. Так, например, дальнейшее увеличение быстроходности высокоскоростных роторных машин ограничено вибростойкостью ротора

и подшипниковых опор, повышение мощности паровых машин и газовых турбин – вибрацией лопаток последних ступеней, создание высокоточных и надежных систем автоматического управления – вибрациями их отдельных элементов.

Вибрация вызывает большие напряжения в конструкциях, что приводит к поломкам и разрушениям главным образом усталостного характера и, как правило, к серьезным авариям.

Вибрации являются источником вредного шума: шум не только отрицательно влияет на физиологию человека, но и приводит к так называемой акустической усталости металла. Вибрации искажают основное движение элементов машин, механизмов и систем управления по предписанным кинематическим законам, порождают неустойчивость заданного закона движения и часто приводят к отказу всей системы.

Одной из причин, главенствующей в разрушении коленчатых валов у двигателей внутреннего сгорания дизель-генераторных установок, является «скручивание вала». Устранение крутильных колебаний вибрации на машинах или агрегатах использованием только пассивных систем амортизации – не всегда оправданный, а порой и бесполезный способ борьбы. Тем более что на определенных частотах и нагрузках могут возникнуть резонансные крутильные колебания, переходящие в колебания всей установки. Современные чувствительные датчики могут успешно обнаруживать зарождение крутильных колебаний при малых углах закручивания валопроводов.

Гашение уже состоявшейся вибрации сейчас решается различными способами в определенных интервалах амплитуд, не вызывающих катастрофические разрушения. И здесь встает более острый вопрос: как ее, заблаговременно обнаружив, локализовать или совсем уничтожить? Надо понимать, что убрать вибрацию с помощью набора амортизаторов – еще не значит полностью устранить усталостные напряжения металла вала или других деталей этой машины [1].

Большое значение для техники имеет развитие динамики машин с переменной массой звеньев, к примеру, рассматриваемых энергетических установок с быстро меняющимися нагрузками на электрогенераторы. При этом не только нагрузки могут быть произвольно изменяющимися, но и способы их автоматического изменения.

Совпадение частот у кривошипно-шатунных механизмов при возвратно-поступательных движениях группы поршней с пульсирующей крутильной раскачкой коленчатого вала при вращении зарождает появление различных вибрационных крутильных колебаний на всех участках коленчатого вала.

Если на коленчатом валу двигателя внутреннего сгорания имеется демпферный механизм, то дальнейшая передача самой скручивающей виб-

рации затухает. Демпферы обычно ставят на тот участок валовой линии – системы, которая имеет максимальную крутильную деформацию, – который расположен в районе хвостовика коленчатого вала, вблизи маховика.

Мы рассмотрим случаи, когда передача момента вращения до потребителя проходит через жесткое соединение: шлицевое, фланцевое. Такие соединения наиболее часто встречаются на высокооборотистых валах (ДВС, газотурбинных установках), здесь полезная передача крутящего момента происходит по целой цепочке валов (валопроводу).

Также напомним, что кручением называется такой вид деформации, при котором в поперечном сечении стержня возникает лишь один силовой фактор – крутящий момент M .

Совпадение частот у возвратно-поступательных движений группы поршней с пульсирующей крутильной раскачкой коленчатого вала при вращении зарождает появление различных (постоянных, растущих) вибрационных крутящих колебаний на всех участках коленчатого вала.

Как пример использования предлагаемых вариантов гашения скручивания валов предлагается рассмотреть современные дизельные энергетические установки (агрегаты) FG «Wilson» (рис. 1), в конструкции которых стоят ДВС фирмы «Perkins» (Великобритания) и дизельные генераторы.

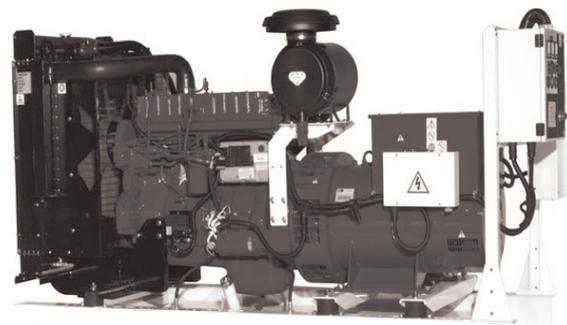


Рис.1 Дизель-генератор «Wilson»

Агрегат имеется в единичном исполнении. Назначение: эксплуатация в виде энергетической машины, например, электростанции. Предлагаемая система автоматического регулирования (устранения крутильных колебаний) включает чувствительных датчики углов закручивания валов, расположенные: первый датчик в районе переднего шкива двигателя внутреннего сгорания, второй в районе маховика, третий на торце выходного вала генератора.

Сигналы от этих датчиков обрабатываются компьютером, связанным с пультом управления. Блок-схема системы активной виброзащиты от крутильных колебаний приведена на рис. 2.

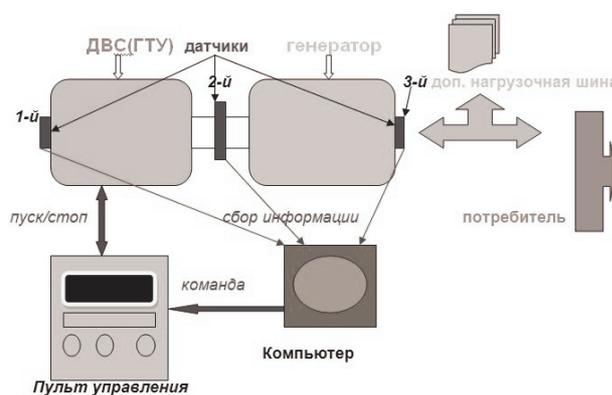


Рис.2 Схема управления динамическими крутильными колебаниями

К датчикам предъявляются повышенные требования по надежности, так как завышение показаний недопустимо: это приведет к генерации ложных сигналов. Также недопустимо занижение, в результате чего не будет сигнала вообще. Датчики оборудованы системой самотестирования и имеют защиту от выдачи ложных сигналов. Для этих целей выделено пространство на самом кристалле датчика, в результате чего определенное количество ячеек используется для самоконтроля. При длительной эксплуатации датчика происходит деградация кристалла, в том числе и той области, которая отведена для самоконтроля, в результате чего появляется нестабильность в работе устройства [2].

Активные системы виброгашения применяются для защиты технических средств в тех областях, где предъявляются особо жесткие требования к допустимому уровню вибрации: при виброизоляции прецизионных станков и стартовых платформ ракет, для защиты пилотов от перегрузок и повышения комфортности транспортных средств.

В общем случае такие системы содержат чувствительные элементы, управляющие, усилительные и исполнительные устройства. В качестве чувствительных элементов используют датчики, регистрирующие силы возбуждения или его кинематические параметры – перемещение, скорость, ускорение. Сигналы датчиков характеризуют качество виброзащиты и используются для формирования сигналов управления, осуществляемого элементами цепи обратной связи. После усиления сигналы подаются в исполнительное устройство, формирующее управляющее воздействие.

Так как нагрузка дизель-генератора является величиной переменной (при частоте изменения нагрузки, совпадающей с частотой вращения вала, происходит резонанс и, как следствие, наибольшее кручение вала двигателя), то в нашем случае система активной виброзащиты не содержит исполнительного устройства, поскольку источником колебаний является переменная электрическая величина. Исполнительным устройством, позво-

ляющим вывести дизель-генераторную установку из резонанса, является нагрузочная шина, представляющая собой набор резисторов и управляемая компьютером. По сигналам от датчиков, установленных на дизель-генераторе, программа определяет номинал сопротивления, которое необходимо подключить в каждый отдельный момент включения дополнительной шины для того, чтобы установить дизель-генератор в оптимальный режим работы.

Показания датчиков будут характеризовать стабильность работы дизель-генератора, работающего на переменную нагрузку. Данные с датчиков обрабатываются компьютером, что позволяет в режиме реального времени контролировать частоту смены нагрузки на дизель-генератор. Изменение режима работы дизель-генератора, вызванное изменением нагрузки, приведет к подключению дополнительной нагрузочной шины. При этом общая нагрузка возрастет, что в свою очередь стабилизирует частоту генератора путем изменения соотношения величин общей нагрузки и выведет систему из состояния резонансов амплитуды крутильных колебаний всего валопровода. При выходе значений сигналов за допустимые оператором уровни система подаст сигнал управления на аварийную остановку приводного двигателя.

Точность преобразования датчиками вибрации в электрический сигнал определяется величинами смещения нуля, погрешностью полной шкалы (или чувствительности), а также температурным и временным дрейфом этих параметров. Важными составляющими погрешности являются также погрешности линейности (нелинейность) и поперечная чувствительность. Смещение нуля и чувствительность датчика при нормальных условиях корректируются при его изготовлении. Остаточная погрешность может быть уменьшена путем калибровки и запоминания калибровочных констант в памяти микроконтроллера. Калибровка сенсора возможна на вибростенде с образцовым датчиком ускорения.

Использование вибростенда имеет следующие преимущества:

- возможность калибровки, в том числе датчиков, восприимчивых только к переменному ускорению;
- возможность калибровки датчиков с ускорениями, многократно превышающими g ;
- возможность калибровать полную шкалу датчиков, способных преобразовывать большие ускорения.

Температурный дрейф смещения нуля и чувствительности также может быть скомпенсирован. Для этой цели некоторые модели снабжаются встроенными датчиками температуры.

Одной из причин нелинейности характеристики преобразования интегральных акселерометров с датчиками емкостного типа является нелиней-

ная зависимость емкости конденсатора от расстояния между обкладками [3]. Такие акселерометры имеют типичную погрешность линейности 1 % от полной шкалы. Другие акселерометры имеют емкостный датчик дифференциального типа, неподвижные пластины которого питаются равными, но противофазными напряжениями возбуждения с частотой 1 МГц, в результате чего зависимость напряжения на подвижных пластинах датчика от перемещения получается линейной. Такие датчики имеют погрешность линейности 0,2 %.

В качестве еще одного источника погрешности является гистерезис (то есть неполная восстанавливаемость) при вибрациях и ударах. Эксперименты по использованию интегральных акселерометров для определения скорости и перемещения показали, что при наличии вибраций большой амплитуды погрешность, обусловленная, по всей видимости, гистерезисом, может достигать совершенно недопустимых значений. Этот гистерезис вызван тем, что при значительных ускорениях деформация растяжек, играющих роль пружин, может быть неупругой, и при уменьшении ускорения инерционная масса либо очень медленно возвращается в исходное состояние, либо не возвращается совсем.

Поперечная чувствительность характеризует способность датчика преобразовывать в электрический сигнал ускорение, направленное под углом 90° к оси чувствительности датчика (поперечное). У идеального акселерометра поперечная чувствительность равна нулю. В паспортных данных датчика указывается часть (в процентах) поперечного ускорения, которая проходит на выход.

Шум, содержащийся в выходном сигнале акселерометра, определяет разрешающую способность устройства, важную при определении малого ускорения. Предельное разрешение в основном определяется уровнем шума измерения, который включает внешний фоновый шум и шум собственно датчика. Уровень шума непосредственно связан с шириной полосы пропускания датчика. Уменьшение полосы пропускания путем включения ФНЧ на выходе датчика приводит к снижению уровня шума. Это улучшает отношение сигнал/шум и увеличивает разрешающую способность, однако вносит амплитудные и фазовые частотные искажения [4].

Для калибровки датчиков предлагается использовать вибростенд [5], оснащенный аппаратно-программным комплексом для измерения параметров датчика. Этот комплекс работает в следующих режимах:

- входной контроль новых датчиков на соответствие требуемым параметрам, сохранение параметров каждого датчика;
- контроль работающих датчиков, сравнение начальных и рабочих параметров;
- создание на вибростенде режимов, максимально приближенных к реальным условиям работы;
- проведение на вибростенде испытаний деталей, узлов и агрегатов в условиях, максимально приближенных к реальным условиям работы.

Предлагаемая система контроля работы дизель-генераторной установки позволяет повысить коэффициент полезного действия при одновременном увеличении ее срока службы. Использование автоматического регулятора нагрузки позволяет эксплуатировать агрегат в оптимальном режиме, при этом снижаются требования к характеристике полезной нагрузки, увеличивается наработка на отказ, уменьшаются расход топлива, затраты на эксплуатацию и расходные материалы.

Литература

1. Вибрация энергетических машин: справ. пособие / под ред. Н.В. Григорьева. Л.: Машиностроение, 1974. 260 с.
2. Шевцов С.М., Ереско С.П., Ереско А.С. Автоматизация процессов измерения // Механики XXI века. сб. докл. VII всерос. науч.-техн. конф. с международ. участием. Братск, БрГУ, 2008. С. 38 - 40
3. Казакевич А. Акселерометры Analog Device. Устройство, применение и непрерывное обновление // Компоненты и технологии. 2007. № 5. С. 46-50
4. Вибрации в технике: справочник. В 6 т. / под ред. К.В. Фролова. М.: Машиностроение. 1981. Т.6.
5. Вибростенд: пат. 86737 Рос. Федерация. № 2009113775/22; заявл. 13.04.09; опубл. 10.09.09, Бюл. № 25. 1с.