

Узлы и системы катерных двигателей

Часть 3. Система амортизации

Б. Е. Синильщиков, В. Б. Синильщиков

Все современные судовые двигатели устанавливаются на амортизаторах и продаются в комплекте с амортизаторами. Достаточно подробно принципы работы системы амортизации рассмотрены в специальной литературе [1, 2], в том числе в «Кия» №120. Кратко напомним, что основные колебания четырехцилиндрового двигателя под действием неуравновешенных сил инерции происходят в вертикальном и горизонтальном направлениях с частотой $f = 2n$, где n – частота вращения в об/с. Исключить колебания на этих частотах можно только за счет использования дополнительных валов с противовесами. Кроме осевых колебаний двигатель при работе совершает угловые колебания вокруг своей оси вследствие действия периодически изменяющихся сил давления в цилиндрах, но исключить (уравновесить) их невозможно, так как они связаны с циклами работы ДВС. Но можно установить двигатель

– возникнет резонанс. При этом амплитуда колебаний двигателя увеличивается до миллиметров, а силы, передаваемые на раму, возрастают, значительно превышая силы при жестком креплении. Учитывая, что обороты большинства двигателей на холостом ходу составляет 700...900 об/мин ($n=12...15$ об/с), расчетное значение частот собственных колебаний четырехцилиндровых двигателей назначают в диапазоне 9...11 Гц – в два с лишним раза меньше частоты основных возмущающих сил ($2n = 24...30$ Гц). Смещение двигателя под действием собственного веса на таких амортизаторах составит 2.0...4.0 мм. При запуске число оборотов двигателя проходит через резонансные обороты, поэтому если двигатель запускается не сразу, то его перемещение на амортизаторах может заметно превысить 10 мм (что совершенно нормально). Почти такие же перемещения на амортизаторах двигатель может совершать

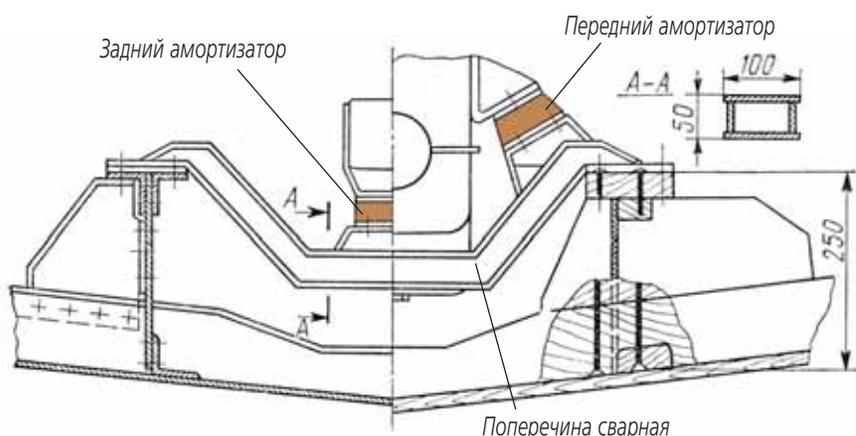


Рис.1. Установка двигателя на поперечную балку, разносящую нагрузку на широко поставленные балки фундамента

при прыжках глассирующего катера на волнах. По этой причине более мягкие амортизаторы (которые лучше гасят вибрацию) для таких катеров следует применять с осторожностью.

Собственные частоты линейных колебаний двигателя на амортизаторах определяются массой двигателя и жесткостью амортизаторов в соответствующем направлении. Собственные частоты угловых колебаний зависят от моментов инерции двигателя, жесткости амортизаторов и их взаимного расположения. Жесткость амортизаторов обычно подбирается по требуемой собственной частоте вертикальных колебаний, а расстояния между амортизаторами – по требуемой собственной частоте угловых колебаний. Кроме того, амортизаторы должны находиться в горизонтальной плоскости, проходящей через центр тяжести двигателя, а наклонные автомобильные амортизаторы, устанавливая ниже центра тяжести (подробнее см. [1]). Однако очень часто приходится крепить амортизатор не в расчетной точке, а рядом, если в нее попадают какие-либо узлы двигателя. Это приводит к связанности линейных и угловых колебаний, причем некоторые собственные частоты становятся более высокими, а некоторые – более низкими. Первое приводит к увеличению амплитуд вибрации, а второе – к большим перемещениям двигателя на амортизаторах.

Отметим, что указанные рассуждения относятся к случаю, когда амортизаторы крепятся к жесткой подмоторной раме, передающей вибрацию на максимально возможное число силовых элементов катера, т.е. масса

на амортизаторы с расчетной жесткостью, и он будет совершать колебания с амплитудой в доли миллиметра, а передаваемые на подмоторную раму нагрузки будут в десятки раз меньше, чем при жестком креплении.

Если к двигателю, установленному на амортизаторы, приложить кратковременное усилие, то он некоторое время будет колебаться, и эти колебания называются собственными. Двигателю на амортизаторах свойственны 6 частот собственных колебаний: 3 частоты линейных колебаний и 3 – угловых (линейные и угловые колебания в общем случае могут быть связанными – [1]). Если частота изменения возмущающих сил (моментов) по одному из шести направлений близка к частоте собственных колебаний по этому направлению

основания соизмерима с массой катера.

Для того чтобы установить амортизаторы на расчетном расстоянии от центра тяжести, необходимо, чтобы подмоторные балки располагались близко друг к другу, что затрудняет обслуживание двигателя. На рис. 1 показана дополнительная поперечная балка, которая позволяет крепить амортизаторы максимально близко к расчетным точкам при приемлемом расстоянии между подмоторными балками.

Мы уже отмечали, что все современные редукторы крепятся непосредственно к двигателю. Это означает, что на двигатель, установленный на амортизаторы, действует и сила упора винта. В этом случае конструкция амортизаторов должна воспринимать и упор, что требует повышения их жесткости и увеличивает частоты угловых колебаний относительно вертикальной оси. Надежность резиновых амортизаторов падает, если в процессе работы резина отрывается от металлического основа-



Рис. 2. Монтаж двигателя Sole на штатные амортизаторы. Места, где установка амортизаторов была бы оптимальной, отмечены штриховкой

ния амортизатора. Чтобы при восприятии упора винта этого не произошло, амортизаторы, как правило, устанавливаются в плоскости гребного вала, что значительно ниже центра тяжести двигателя, и увеличивают расстояние между ними. Это ведет к увеличению частот собственных угловых колебаний относительно поперечной оси. Расчеты показывают, что

отклонение мест установки амортизаторов от расчетных, которое имеет место на многих моделях катерных двигателей, приводит к увеличению угловых частот свободных колебаний до 15...20 Гц. В большинстве случаев это приводит только к росту вибрации на холостых оборотах, что можно считать допустимым (длительная работа дизеля на холостых оборотах вообще не рекомендуется). На рис. 2 показан дизель Sole со штатными амортизаторами. Расчетные места крепления амортизаторов, позволяющих обеспечить оптимальное гашение вибраций, показаны на рисунке прямоугольниками.





WWW.VETUS.COM

НОВЫЕ ПОДРУЛИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА VETUS

Только один винт, но уникальной конструкции (одинаковый упор в обоих направлениях, низкий шум кавитации), геликоидальный редуктор, эластичная муфта. Высокий КПД и простота установки, полное обеспечение запасными частями. Широкий ассортимент: электрические и гидравлические модели.

Поставки, гарантийное обслуживание и консультации через сеть уполномоченных дилеров.
3-х летняя гарантия на все судовое оборудование VETUS.

www.vetus.ru

CREATORS OF
BOAT SYSTEMS

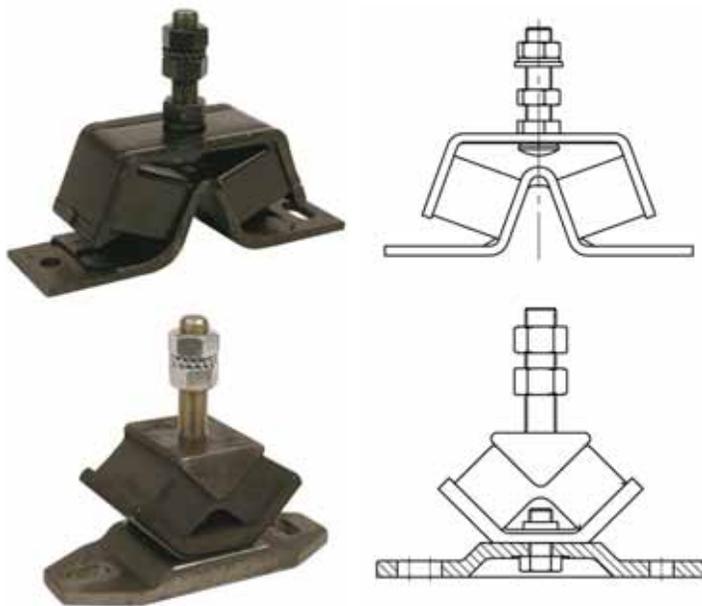


Рис. 3. Амортизаторы Sole имеют равную жесткость в вертикальном и горизонтальном направлениях

Если же вибрация у двигателя со штатными амортизаторами на холостых оборотах значительна, то причиной тому, скорее всего, большая неравномерность впрыска по цилиндрам, либо соединенные с ним муфта или вал обладают значительным дисбалансом и создают возмущающие силы с частотой n , а не $2n$.

Нагрузка P (кг) на один амортизатор определяется по следующей формуле:

$$P = G/k + 487(Ni/nx);$$

где: G – масса двигателя (кг), k – количество амортизаторов, N – мощность двигателя (кВт), i – передаточное отношение редуктора, n – обороты двигателя (об/мин), x – расстояние между амортизаторами в поперечном направлении (м). Эта величина не должна превышать 0.9 от максимальной нагрузки для амортизатора, которая указывается в каталогах фирм.

Известно, что при любых изменениях формы резины ее объем практически не меняется. Так, резиновый кубик при сжатии, приобретая бочкообразную форму, остается достаточно податливым, в то время как резиновая про-



Рис. 4. Жесткость амортизаторов Vetus в горизонтальном направлении выше, чем в вертикальном

кладка при сжатии будет достаточно жесткой. Резина при деформации сдвига существенно (в 6–7 раз) более податлива, чем при деформациях сжатия. Подбирая угол крепления слоя резины к основанию, можно обеспечить необходимое сочетание жесткостей по разным направлениям. Амортизатор фирмы Sole Diesel (рис. 3), фактически состоит из двух элементов, с углами установки $\pm 45^\circ$, что обеспечивает одинаковую жесткость в вертикальном и поперечном направлениях. Амортизатор фирмы Vetus (рис. 4) имеет кольцевой слой резины, привулканизированный к наклонным стенкам основания. Для восприятия тяги винта жесткость этого амортизатора в продольном направлении выше жесткости в поперечном направлении в 1.5...7 раз.

Нижние опоры катерных амортизаторов – горизонтальные, а верхняя накладка заканчивается резьбовой шпилькой M16×1.5 (для тяжелых дизелей M20×1.5). Такая конструкция упрощает центровку двигателя.

На легковых автомобилях часто применяются наклонные амортизаторы, которые крепятся к специальным наклонным опорам – как на двигателе, так и на раме. В некоторых случаях наклонные амортизаторы имеют весьма простую форму – в виде усеченной пирамиды. Однако система амортизации с применением таких внешне простых амортизаторов как правило более эффективна, чем с применением более сложных амортизаторов, нижние опоры которых горизонтальны. Это связано с тем, что расчетные места крепления наклонных амортизаторов к двигателю расположены заметно ниже центра тяжести двигателя. Выдержать требования расчета по местам установки при использовании таких амортизаторов значительно легче.

Из вышесказанного ясно, что эффективность системы амортизации зависит не от фирмы, изготовившей амортизаторы, а от правильно выбранной жесткости амортизатора, и что, пожалуй, еще более важно – от того, насколько близко установлены амортизаторы к расчетным точкам крепления. Фирма-изготовитель должна отвечать лишь за ресурс амортизаторов, т.е. за то, как долго проработает амортизатор без отслоения резины от основания. К возможности отслоения следует относиться особенно внимательно при установке двигателя на скоростные катера и яхты. Фирма – фирмой, но мы бы не советовали использовать на яхтах амортизаторы без «страховки». В амортизаторах со страховкой при разрушении резины металлические элементы в составе конструкции амортизатора предотвратят отрыв двигателя от основания при перевороте или большом крене яхты. Если на яхте используется амортизатор без «страховки», рекомендуем самостоятельно установить аналог «страховки», исключающий отрыв двигателя при разрушении амортизатора на больших углах крена ❌

Литература 1. Мухин Ю. Н., Синильщиков Б. Е. Автомобильный двигатель на катере. – Л.: Судостроение, 1980.
2. Колебания силового агрегата автомобилей / В. Е. Гольский и др. – М., Машиностроение, 1971.
Использованы материалы каталогов Sole и Vetus.