

Разработка эффективного виброизолирующего устройства на транспорте



Е. Г. Гурова,
канд. техн. наук,
доцент кафедры
электротехнических
комплексов Новосибирского
государственного
технического университета



В. Ю. Гросс,
канд. техн. наук,
профессор кафедры
электрооборудования и
автоматики Новосибирской
государственной академии
водного транспорта

Высокие требования, предъявляемые к виброизоляции на транспорте, обусловлены целым рядом причин, как экологических, так и технических. Уровень вибрации машин и механизмов зачастую превышает нормативы качества окружающей среды, ведет к развитию профессиональных заболеваний, вызывает выход из строя чувствительного к вибрации электронного оборудования, которым все чаще оснащаются транспортные средства. Назрела необходимость в системном, масштабном решении проблемы. Одним из шагов в этом направлении является создание виброизолирующего устройства с электромагнитным компенсатором жесткости.

Согласно действующему ГОСТ 24346-80, вибрация — это движение точки или механической системы, при котором происходят колебания характеризующих его скалярных величин.

Основными источниками шума и вибрации на транспортных средствах являются энергетические установки (главные двигатели, двигатели внутреннего сгорания, дизель-генераторы), движители, электрические машины, насосы, вентиляторы, гидравлические и воздушные системы, валопровод, а также волнение моря, неровности дорог и т. д.

Например, вибрация на судах приводит к снижению прочности сварных соединений силового набора и обшивки, к образованию трещин в силовом наборе, фундаменте, к поломке валопроводов, навешенного на двигатели оборудования, к снижению надежности и точности электронной аппаратуры, навигационных систем и гидроакустических приборов. На судах наибольшие колебания испытывают кормовые оконечности корпусов (в районе гребных винтов), перекрытия машинных отделений и надстройки (жилые, производственные и общественные помещения).

Сегодня существует множество способов уменьшения вибрации: динамическое уравновешивание двигателей, применение динамических гасителей колебаний, активные виброзащитные системы с дополнительным источником вибрации и т. д. Например, чтобы снизить передаваемую от судовых дви-

гателей вибрацию, их устанавливают на виброизоляторы.

Виброизоляторы (как правило, резинометаллические) имеют простую конструкцию, достаточно надежны и практически не требуют обслуживания.

Однако существующие пассивные виброизоляторы не отвечают современным требованиям. В локомотивостроении, автомобилестроении уровни вибрации уменьшают путем установки двигателя на упругие элементы (пружины, рессоры) большой жесткости. При этом подобные средства виброзащиты не снижают уровней вибрации до санитарных норм.

Самым перспективным методом снижения уровней вибраций на судах является применение виброизолирующих устройств с плавающим участком нулевой жесткости. Этот тип устройств наиболее полно отвечает требованиям идеальной виброизоляции.

Таким образом, создание и исследование виброизолирующих систем с перестраивающимися компенсаторами жесткости следует признать актуальной научной задачей.

В данных системах параллельно упругим элементам включаются так называемые компенсаторы (корректоры) жесткости — устройства, имеющие падающие силовые характеристики, т. е. отрицательный коэффициент жесткости. Суммарная жесткость виброизолятора, определяемая суммой жесткостей упругого элемента и компенсатора, может быть сведена вплоть до нуля, что теоре-

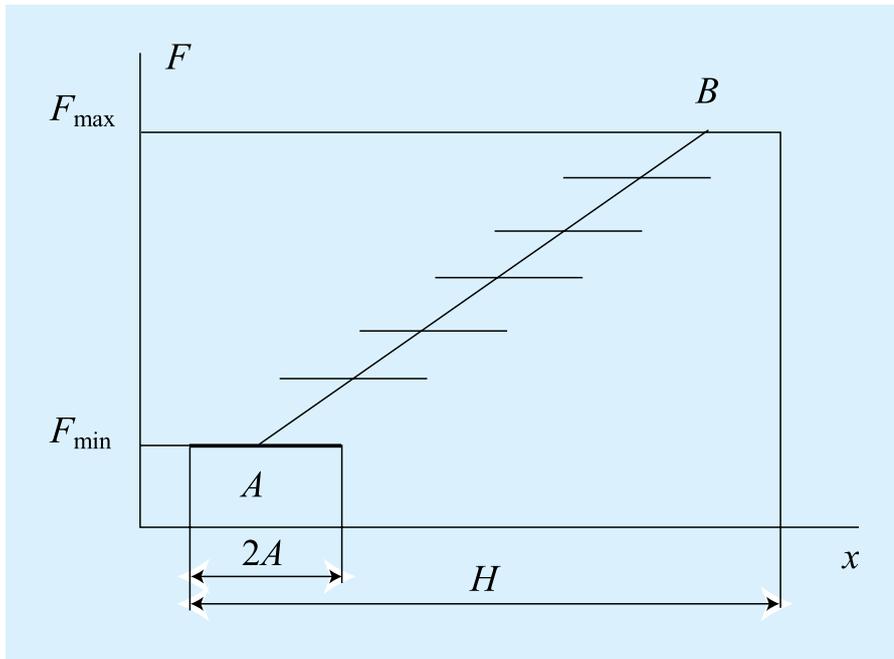


Рис. 1. Силовые характеристики перестраивающегося виброизолирующего механизма

тически позволит обеспечить идеальную виброизоляцию. Для выбора типа корректора жесткости учитываются основные требования, предъявляемые к виброзащитному устройству [1–4].

Условиям идеальной виброизоляции отвечают устройства с силовыми характеристиками (рис. 1).

При ограниченных значениях виброизолирующего хода подвески H и при заданном диапазоне изменения усилий от F_{max} до F_{min} , передаваемых от защищаемого объекта вибрирующему, силовые характеристики виброизолирующих механизмов, обеспечивающих идеальную виброизоляцию, представляют собой бесконечное множество отрезков прямых, равных по длине $2A$ (размах колебаний), параллельных оси абсцисс и расположенных своими серединами на отрезке AB прямой, наклоненной к оси абсцисс под углом. Тангенс такого угла равен жесткости подвески. Допустимое перемещение вибрирующего объекта относительно защищаемого H нельзя принимать близким к $2A$, поскольку в этом случае жесткость будет стремиться к бесконечности. Нельзя брать H значительно превышающим $2A$, так как при этом резко растут габариты упругих элементов; большинство машин с такими подвесками становятся непригодными к эксплуатации.

Получить участок силовой характеристики с нулевой жесткостью можно включением параллельно упругому элементу специального устройства, называемого компенсатором или кор-

ректором жесткости с падающей силовой характеристикой [1; 3; 5]. Суммарная характеристика виброизолятора с компенсатором жесткости показана на рис. 2: изменяя жесткость компенсатора, можно получить любую желаемую жесткость виброизолятора.

Для обеспечения «плавания» участка нулевой жесткости при изменении статической составляющей внешней нагрузки компенсатор снабжается специальной системой перестройки, отслеживающей относительное положение вибрирующего и защищаемого объектов и удерживающей рабочие элементы компенсатора в зоне их рабочих перемещений. Строго говоря, под компенсатором жесткости обычно понимают собственную падающую силовую характеристику и систему перестройки.

Так как система перестройки зачастую может быть различной сложности, то виброизолятор с таким компенсатором жесткости может представлять собой виброизолирующий механизм.

Поскольку виброизоляторы с компенсаторами жесткости могут обеспечить теоретически идеальную виброизоляцию, их применение можно считать одним из самых перспективных способов виброизоляции судовых энергетических установок.

Большинство известных конструкций компенсаторов жесткости и систем их перестройки являются механическими и обладают рядом недостатков (силы трения, дополнительные силы инерции

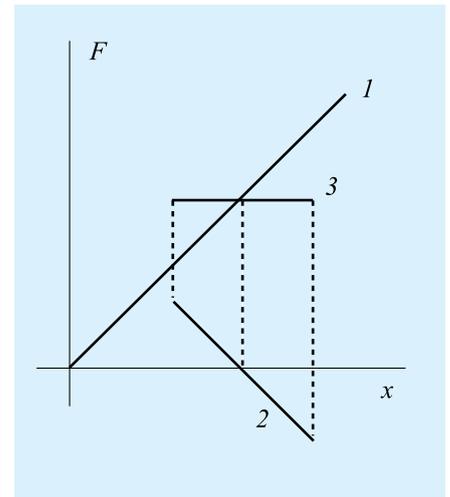


Рис. 2. Характеристика виброизолятора с компенсатором жесткости: 1 – упругого элемента; 2 – компенсатора жесткости; 3 – виброизолятора

и т. д.). Мы ставили перед собой задачу разработать и исследовать виброизолятор с электромагнитным компенсатором жесткости.

Электромагнитный компенсатор жесткости максимально отвечает условиям идеальной виброизоляции. Он выполнен в виде двух встречно включенных электромагнитов [6–9] и обладает рядом преимуществ над механическими корректорами жесткости, в частности:

- наиболее полно отвечает требованиям идеальной виброизоляции как при постоянных по величине, так и при произвольно меняющихся нагрузках;
- не имеет взаимодействующих частей, а следовательно, нет сил трения и износа деталей;
- не имеет промежуточных подвижных масс, поэтому исключены силы инерции;
- обладает быстродействующей системой перестройки, перераспределяющей напряжение на электромагнитах при изменении нагрузки; это свойство позволяет формировать рабочие характеристики компенсатора жесткости и всей виброзащитной системы в целом, что исключает резонансные режимы при переходных процессах, обусловленных изменением нагрузки, обеспечивает нулевую жесткость и расширяет диапазон рабочих частот вибросистемы [6; 8].

Виброизолятор (рис. 3) содержит упругий элемент и включенный параллельно ему электромагнитный компенсатор жесткости, выполненный в виде двух встречно включенных электромаг-

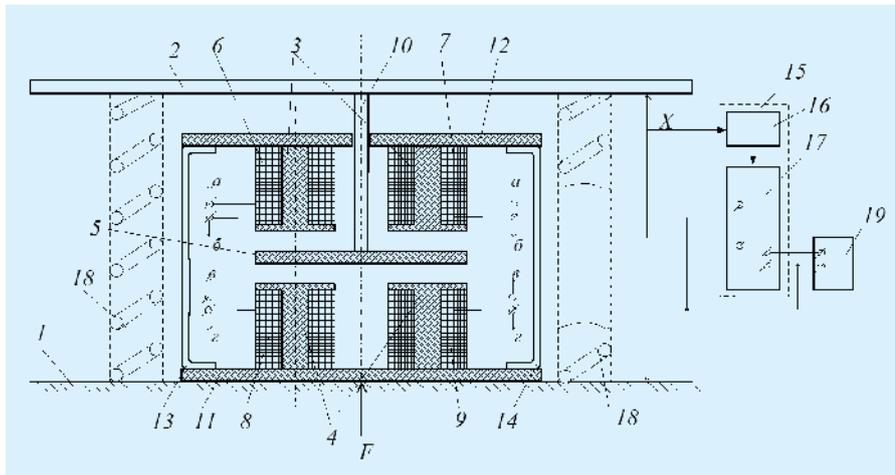


Рис. 3. Виброизолирующая подвеска с электромагнитным компенсатором жесткости

нитов постоянного тока (3 — первый; 4 — второй), которые жестко закреплены на вибрирующем объекте (1) и общий якорь (5) которых жестко связан с защищаемым объектом (2). Электромагнитный компенсатор жесткости снабжен устройством управления (15), которое выполнено в виде датчика относительного положения вибрирующего и защищаемого объектов (16) и последовательно с ним включенного нелинейного регулятора напряжений (17). Нелинейная характеристика устройства управления (15) выполняется так, чтобы, перераспределяя питающее напряжение электромагнитов (3, 4) при изменении относительного положения вибрирующего и защищаемого объектов, обеспечивать постоянный наклон силовой характеристики электромагнитного компенсатора жесткости. Катушки (7, 9) электромагнитов подключены к источнику питания (19) через устройство управления (15). Катушки (6, 8) получают питание последовательно с катушками (7, 9) электромагнитов по связям (а, б, в, г).

При изменении величины внешнего усилия (F) изменяется относительное положение (X) вибрирующего и защищаемого объектов, что является входным воздействием устройства управления, в котором изменяется выходной сигнал датчика относительного положения вибрирующего и защищаемого объектов, являющийся входным воздействием нелинейного регулятора напряжений. Нелинейный регулятор перераспределяет напряжения на катушках электромагнитов таким образом, чтобы при новом положении объектов наклон тяговой характеристики электромагнитного компенсатора жесткости оставался неизменным; это обеспечивает нулевую жесткость всего виброизоля-

тора и, следовательно, исключает передачу динамических усилий при различных значениях внешнего усилия (F).

При неизменном по величине внешнем усилии (F), действующем между защищаемым и вибрирующим объектом, и вибрациях последнего суммарная тяговая характеристика электромагнитов по абсолютной величине характеризуется таким же наклоном, как и силовая характеристика упругого элемента (18). Поскольку электромагниты имеют падающую силовую характеристику, суммарная силовая характеристика виброизолятора в пределах размаха колебаний горизонтальна, что исключает передачу на защищаемый объект динамических усилий, вызванных колебаниями вибрирующего объекта.

При изменении статической составляющей усилия (F) изменяется относительное положение (X) вибрирующего и защищаемого объектов, что приводит к изменению выходного сигнала датчика положения (16) и, следовательно, выходных напряжений нелинейного регулятора (17). Напряжения на катушках электромагнитов перераспределяются таким образом, чтобы при новом положении объектов 1 и 2 наклон тяговой характеристики электромагнитного компенсатора жесткости оставался неизменным, что обеспечивает нулевую жесткость всего виброизолятора при новом значении усилия (F) и, следовательно, исключает передачу динамических усилий при различных значениях внешнего усилия.

К недостаткам компенсаторов такого типа следует отнести необходимость подвода энергии от внешнего источника и наличие вихревых токов в магнитопроводах — своего рода аналогов сил вязкого трения.

Виброизолирующее устройство с электромагнитным компенсатором жесткости подходит для использования в любой области машиностроения и техники, а также может оказаться очень эффективным для защиты человека от вибраций, генерируемых энергетическими установками транспортных средств. **Т**

Литература

1. Зуев А. А., Зуев А. К., Четверкин В. А. Проблемы виброизоляции // Проблемы виброизоляции на судах: сб. науч. тр. Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2003. С. 43–55.
2. Зуев А. К., Гросс В. Ю. Некоторые вопросы теории виброизоляции // Вопросы автоматизации производственных процессов с использованием силовых импульсных систем: межвуз. сб. науч. тр. Новосибирск: Новосиб. электротехн. ин-т, 1984. С. 68–75.
3. Зуев А. К. Пути совершенствования конструкций перестраивающихся виброизолирующих механизмов // Снижение вибрации на судах: сб. науч. тр. Новосибирск: Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп., 1988. С. 3–18.
4. Зуев А. К. Вибрации машин и пути их виброизоляции // Вопросы виброизоляции судовых механизмов и машин: сб. науч. тр. Новосибирск: Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп., 1983. С. 6–18.
5. Патент № 004696 Виброизолятор с электромагнитным компенсатором жесткости / ФГОУ ВПО «НГавТ», авторы: Е. Г. Гурова, В. Ю. Гросс (РФ). № 2011103409/11; заявл. 31.01.2011. 4 с.: ил.
6. Гурова Е. Г. Виброизолирующая подвеска судовой энергетической установки с нелинейным электромагнитным компенсатором жесткости: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2008. 23 с.
7. Гурова Е. Г. Виброизолирующие подвески транспортных энергетических установок с нелинейными электромагнитными компенсаторами жесткости. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. 156 с.
8. Гурова Е. Г. Виброизолирующие устройства нового поколения // Молодой ученый: сб. науч. тр. Чита, 2011. № 6–1. С. 42–44.
9. Гросс В. Ю. Виброизоляция судового двигателя // Виброизоляция судовых силовых установок: сб. науч. тр. Новосибирск: Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп., 1985. С. 29–33.