

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КЛАПАННЫХ АГРЕГАТОВ С МЕТАЛЛОРЕЗИНОВЫМИ И ТРОСОВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Мулюкин О.П., Паровой Ф.В., Чегодаев Д.Е., Вершигоров В.М.,
Кирилин А.Н.,

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Разработанный для нужд аэрокосмической промышленности материал МР («металлорезина» или «металлический аналог резины») нашел применение и в других отраслях народного хозяйства для достижения требуемых параметров высоконапряженных машин, энергетических установок и оборудования.

Сведения о материале МР, его свойствах, конструировании и изготовлении из него различного рода изделий наиболее полно собраны и обобщены в работе [1]. Там же приведены основные сведения по конструктивному исполнению уплотнительных и исполнительных органов некоторых типов гидropневмотопливных агрегатов, разработанных в Самарском государственном аэрокосмическом университете (СГАУ) для объектов различного назначения, в том числе:

- контактные радиальные и торцовые уплотнения ([1], рис. 3.37-3.40);
- клапанные уплотнения ([1], рис. 3.41-3.50, 3.52-3.54, 3.30, 3.36).

Широкое применение в агрегатостроении упругопористого материала МР обусловлено изначальной уникальностью его свойств, причем в последние годы четко отслеживается тенденция дальнейшего увеличения номенклатуры и объема выпуска клапанных агрегатов с узлами и деталями из МР.

Демпфирование, виброизоляция и шумоглушение клапанных агрегатов, их узлов и элементов. Качественное изменение клапанных агрегатов за счет форсирования их скоростных и силовых параметров при неуклонной тенденции снижения их материалоемкости обуславливает возрастание динамических нагрузок, механических воздействий и, следовательно, вибрационной активности рабочих и исполнительных органов клапанной арматуры.

Проблема защиты от ударов, вибрации и шума в той или иной степени присуща различным типам клапанных агрегатов. Ее успешное решение во многом зависит от рационального использования приемов управления динамическими процессами, возникающими в агрегатах, реализации эффективных способов и средств вибро- и ударозащиты клапан-

ных уплотнений при значительных скоростях посадки клапана на седло. Работа в этом направлении требует комплексного системного подхода на всех этапах проектирования, производства и эксплуатации агрегатов.

Механическим колебаниям в технике, проблемам вибрации и удара посвящено большое количество работ. В технике борьбы с вибрацией в источнике ее образования значительная роль принадлежит демпфированию, динамическому гашению колебаний, виброизоляции [2,3].

Охарактеризуем указанные направления борьбы с вибрацией и ударом клапанно-седельных пар агрегатов с акцентированием приемов конструкционного демпфирования [4], в том числе на базе деталей из материала МР. Являясь по своей сути металлическим аналогом резины, материал МР представляет собой упругопористую металлическую структуру, из которой можно получить путем холодного прессования детали требуемых форм и размеров. Упругость, эластичность и капиллярно-пористая структура материала МР, высокая работоспособность в условиях низких и высоких температур, практически неограниченный срок хранения обусловили высокую эффективность применения металлорезиновых конструкций в системах и устройствах виброзащиты клапанных агрегатов, включая аэрокосмическую технику.

Демпфирование относится к методам принудительного гашения колебаний системы. В основе его лежит рассеивание колебательной энергии путем преодоления сил неупругого сопротивления, называемых диссипативными.

В реальных колебательных системах всегда присутствуют диссипативные силы. Их наличие обеспечивает затухание колебаний. Естественную диссипацию энергии определяет внутреннее трение материалов, а также трение между деталями сочленений, деталей об окружающую рабочую среду, например, жидкость или газ.

В системах виброзащиты диссипацию преднамеренно увеличивают введением в конструкцию агрегата специальных демпфирующих устройств (демпферов, катарактов).

Демпфер как устройство для успокоения или предотвращения колебаний выполняется, как правило, из упругих материалов с большим внутренним трением. Катаракт, напротив, не имеет упругих частей. Механическая энергия в нем не аккумулируется, а преобразуется в тепловую и рассеивается в окружающую среду.

В работе [1] представлены варианты конструктивного исполнения элементов из МР, обеспечивающих высокоэффективное рассеивание энергии распределенных ударных нагрузок большой мощности.

На рис. 1 представлены приемы конструктивной реализации элементов конструкционного демпфирования в клапанно-седельных парах

агрегатов с целью снижения вибрационных, ударных нагрузок и шумоглушения при посадке клапана на седло. В частности, на рис. 1, а представлена конструкция демпфера клапанного элемента (золотника). Она включает корпус 1, золотник 2, седло 3. В теле золотника 2 последовательно (относительно седла 3) размещены уплотнитель 4, полимерный диск 6, цилиндр 7 из материала МР, металлический диск 8 и упругий гофрированный металлический диск 9. Данный набор элементов уплотнительно-демпфирующего устройства в теле золотника 2 закреплен при помощи гайки 5.

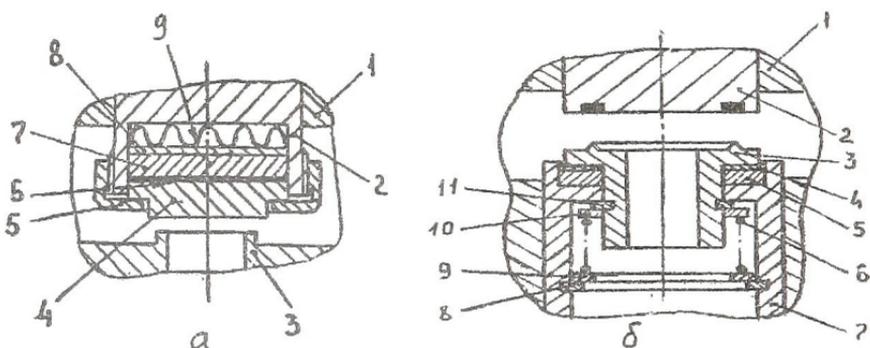


Рисунок 1 – Приемы реализации элементов конструкционного демпфирования в клапанном элементе (а) и седле (б)

На рис. 1, б представлена конструкция задемпфированного седла. Конструкция включает корпус 1, в котором сцентрирован клапан (золотник) 2. В корпусе 1 размещено седло 3, которое с жестко закрепленной в корпусе опорной втулкой 7 связано при помощи цепочки элементов: металлического диска 4, втулки 5, из материала МР, стопорного кольца 11, опоры 10, на которую передается усилие пружины 6. Пружина 6 опирается на нижнюю опору 9, зафиксированную стопорным кольцом 8.

Следует отметить, что конструктивное исполнение демпферов клапанно-седельных пар отличается большим многообразием, включая случаи демпфирования как золотника, так и седла. Возможно одновременное демпфирование золотника и седла при значительных динамических нагрузках в зоне уплотняющих поверхностей с учетом принятого типа пружины [5: рис.1.4].

Динамическое гашение колебаний. Этот метод борьбы с вибрацией заключается в присоединении к объекту виброзащиты (подвижному золотнику клапанного агрегата) дополнительных устройств, изменяющих характеристики колебательной системы.

Известны два принципа динамического гашения. Первый основан на перераспределении колебательной энергии от объекта к гасителю, вто-

рой – на увеличении рассеяния, диссипации энергии колебаний (пульсации давления).

В первом случае для подавления моногармонических или узкополосных случайных колебаний используют инерционные динамические гасители, которыми отстраивают упругоинерционные свойства системы (устройства преобразования поступательного движения колеблющегося элемента в другие формы движения, например, во вращательное).

В случае широкополосной вибрации более эффективны динамические гасители диссипативного типа, вводимые в колебательную систему в виде дополнительных демпфирующих элементов, называемых поглотителями колебаний.

Использование в поглотителях колебаний в качестве демпфирующего элемента материала МР диктуется рядом его уникальных свойств. Во-первых, материал МР по своей физической сущности является естественным гасителем колебаний проходящей через него среды, поскольку он состоит из множества связанных между собой хаотично расположенных пор и капилляров, сглаживающих забросы давления среды. Во-вторых, в силу упругости материала детали испытывают при изменениях давления дополнительную осевую деформацию, что сопровождается соответствующим изменением проходных сечений капилляров и площади касания трущихся проволочек в материале. Оба процесса увеличивают интенсивность диссипации в упругодемпфирующих элементах (УДЭ) из МР по мере роста динамических нагрузок.

Методология динамического гашения различных объектов техники представлена в работе [6].

Виброизоляция является распространенным и эффективным способом вибрационной защиты. Ее сущность состоит в уменьшении передачи вибрации от источника возбуждения защищаемому объекту. Применительно к клапанному агрегату виброизоляция золотника существенно снижает динамические нагрузки, возникающие в момент касания (посадки) клапана с существенным увеличением ресурса уплотняющих поверхностей.

Известно, что любая система виброизоляции включает три основных элемента: источник вибрации (удара), защищаемый объект (клапанное уплотнение) и средство виброизоляции (виброизолятор). В зависимости от соотношения масс источника и защищаемого объекта, а также характера приложения внешних возмущающих сил система может иметь динамическое (силовое) или кинематическое возбуждение. Средство виброизоляции является важной частью системы. Его назначение – создание режима движения, инициируемого заданными возмущениями, при котором реализуется цель защиты объекта.

Вышеизложенное предопределило создание нового поколения клапанных агрегатов, принципиально отличающихся от конструкций с традиционным центрированием хвостовика золотника (клапана) в направляющей корпуса.

Речь идет о подвеске золотника на металлорезиновых или тросовых [4] виброизоляторах, серийно выпускаемых промышленностью. Одна из таких конструкций – предохранительный клапан низкого давления представлена на рис.2. Клапан включает составной корпус в виде уплотненных и связанных резьбовым соединением корпусов 1 и 2. В корпусе 2 выполнено седло 3, к которому поджат запорный орган (золотник) 4 при помощи пружины 8. Запорный орган 4 подвешен на серийном виброизоляторе 6. Это достигается за счет

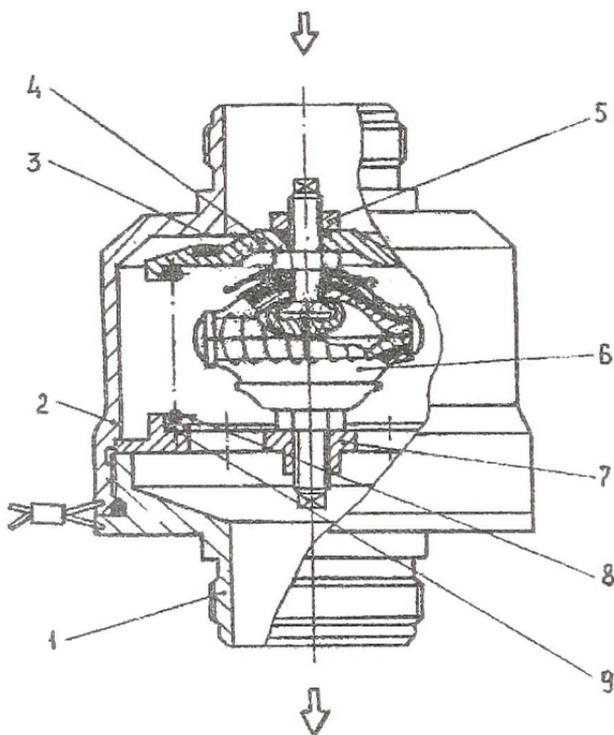


Рисунок 2 - Предохранительный клапан низкого давления с подвеской золотника на виброизоляторе

соединения одного из резьбовых хвостовиков виброизолятора 6 с запорным органом 4 с фиксацией гайкой 5, а другого хвостовика – с пружинной опорой 7. Для регулирования усилия пружины 8 используется регулировочная шайба 9.

В аэрокосмической технике эксплуатируются различные модификации цельнометаллических виброизоляторов [1]. В конструкции, представленной на рис. 2 использован серийный виброизолятор типа ДКУ-90-40/15, воспринимающий вибрационные и ударные нагрузки под любым углом наклона. Два колоколообразных упругодемпфирующего элемента из материала МР соединены проволоочной сшивкой. Виброизолятор обладает высокими демпфирующими свойствами, обеспечивает коэффициент усиления на резонансе не более 3, надежно работает при

амплитудах виброремещения до 4 мм в диапазоне нагрузок 30...50 кГ.

Для крупных клапанных агрегатов целесообразна подвеска золотника на нескольких симметрично расположенных виброизоляторах (больше 3) с внутренним размещением пружин в пространстве между виброизоляторами. Это улучшает массо-габаритные характеристики конструкции и снижает ее гидросопротивление. В настоящее время ряд таких конструкций находится в стадии экспериментальных исследований эффективности виброизоляторов для повышения вибро- удароустойчивости и снижения шума клапанно-седельных пар при срабатывании в сопоставлении с традиционными конструкциями агрегатов.

Абстрагируясь от реальных условий эксплуатации, можно отметить, что средний гарантийный ресурс виброизоляторов из материала МР составляет $10^4...10^5$ циклов срабатываний, что значительно превышает ресурс эластомерных и полимерных клапанных уплотнений агрегатов. Ограничения по ресурсу указанных виброизоляторов связаны с тем, что вследствие точечного контакта витков проволоочной основы материала МР в работающем виброизоляторе происходит интенсивный износ проволоки с последующим заклиниванием трущихся элементов. При этом демпфирующие свойства материала МР довольно быстро падают (до 50%), а жесткость возрастает на 60...100%. Кроме того, при интенсивной вибрации продукты износа МР забивают поры виброизолятора, что снижает его эластичность.

Исследования последних лет показали, что ресурс виброизоляторов из материала МР можно довести до $10^7...10^8$ циклов срабатываний за счет улучшения стабильности упруго-демпфирующих свойств МР путем комбинирования его с упругими элементами регулярной структуры (тросовыми), имеющими большую площадь соприкосновения трущихся поверхностей.

Шумоглушение. Движение вытекающих из агрегата струй сопровождается значительным уровнем шума. Шум распространяется не сферически, а преимущественно конусообразно с углом наклона 30...60° к оси потока, причем более высоким частотам соответствует больший уровень шума. Поэтому в случаях истечения газа в атмосферу (например, срабатывание дренажно-предохранительных устройств тепловых и атомных электростанций) струи обычно направляют вверх. Частотные составляющие шума при истечении среды описываются уравнением

$$f = C * (V / D) \sqrt{T / T_c},$$

где C^* - поправочный коэффициент, учитывающий вид среды и режим ее

истечения; D - характерный размер струи; V - скорость среды; T_c - абсолютная температура среды в струе; T - абсолютная температура среды вне струи; f - частота колебаний.

Если выходная скорость потока ниже скорости звука, процесс дросселирования произойдет внутри дросселирующего сечения трубопровода, а не за ним. Поэтому размещение в трубопроводах пористых проставок из МР позволяет снизить скорость движения в них сред в 2 и более раз, что уменьшает скоростной напор газа на выходе трубопровода в 4...5 раз с существенным снижением шума и вибрации трубопровода. Примером такой конструкции может служить предохранительный клапан, представленный на рис. 3. Клапан имеет дифференциальный затвор (жестко связанные разгрузочный сильфон 6 и конический затвор 5, нагруженный пружиной 8) для разгрузки уплотняющих поверхностей затвора 5 и седла 7 от силового давления рабочей среды [7]. Размещенный на выходе клапана цилиндр 9 из материала МР обеспечивает снижение шума и вибрации конструкции, а также подводящих трубопроводов. Не менее важным достоинством данного клапана является обеспечение стабилизации давления на выходе при забросах и

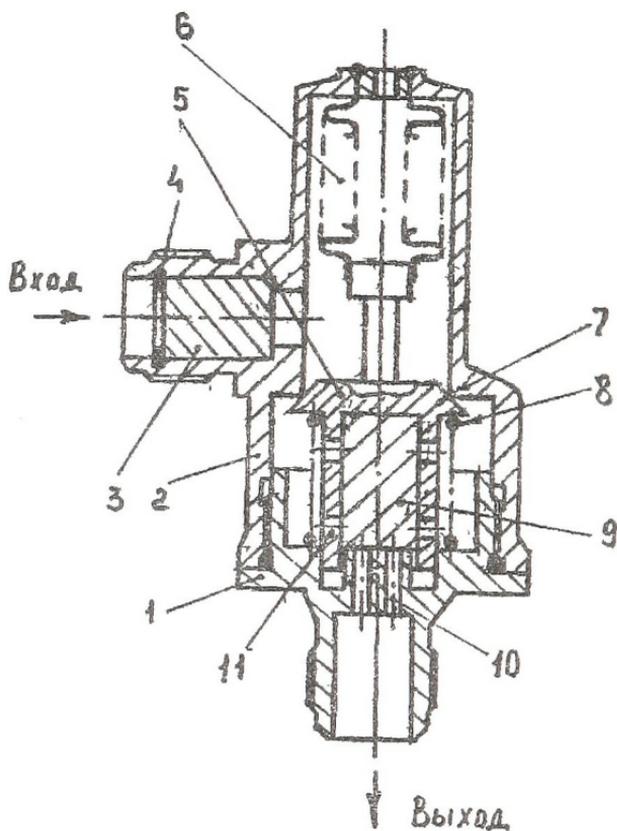


Рисунок 3 - Малошумный предохранительный клапан: 1,2 – корпус; 3 – фильтр; 4 – стопорное кольцо; 5 – конический затвор; 6 – разгрузочный сильфон; 7 – седло; 8 – пружина; 9 – цилиндр из МР; 10,11 – перепускные каналы

пульсации входного давления. Это связано с тем, что при резком открытии затвора 5, обусловленном забросом входного давления, происходит осевое сжатие цилиндра 9 из материала МР. При этом:

- уменьшается площадь проходного сечения капилляров и пор материала МР, что сглаживает забросы давления среды на выходе,
- увеличивается площадь касания трущихся проволоочек в материале МР, что увеличивает рассеивание энергии колебаний.

В 90-е годы наметилась тенденция к проектированию клапанных агрегатов «по неузнаваемой схеме» на базе комбинирования элементов из материала МР, тросов и других перспективных материалов [1,5,7,8]. Можно полагать, что по мере развития производственной базы по выпуску материалов капиллярно-пористой структуры и дальнейшего углубления комплекса научно-исследовательских работ по повышению технических параметров этих материалов масштабы и области их использования существенно расширятся.

Список литературы

1. Чегодаев Д.Е., Мулюкин О.П., Колтыгин Е.В. Конструирование рабочих органов машин и оборудования из упругопористого материала МР: Учеб.-справ. пособие в двух частях. Самара, НПЦ «Авиатор», 1994. – 156 с (Ч.1), -100 с (Ч.2).
2. Вибрация в технике: Справочник. В : т.// Под ред. В.Н. Челомея. – М.: Машиностроение, 1978. Т.6. – 456 с.
3. Ивович В.А., Онищенко В.Я. Защита от вибраций в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1990. – 242 с.
4. Чегодаев Д.Е., Пономарев Ю.К. Демпфирование. – Самара, СГАУ, 1997. – 334 с.
5. Чегодаев Д.Е., Мулюкин О.П. Элементы клапанных устройств авиационных агрегатов и их надежность: Учеб. Пособие. – М.: Изд-во МАИ, 1994. – 208 с.
6. Шорин В.П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах. – М.: Машиностроение, 1980. – 156 с.
7. Чегодаев Д.Е., Мулюкин О.П. Гидропневмотопливные агрегаты и их надежность. – Куйбышев, Куйб. Кн. Изд-во, 1990. – 104 с.
8. Амосов А.П. Композитные и порошковые материалы, покрытия (введение в технологию, материаловедение и применение): Учеб. Пособие.- Самара, Самарский политехн. Ин-т, 1992. – 102 с.