

Для обеспечения заданных механических свойств МР иногда подвергают так называемой термической стабилизации, заключающейся в предварительном нагреве заготовки и последующем ее прессовании. Температура нагрева должна быть не меньше температуры рекристаллизационного отпуска ($300 \div 550^\circ\text{C}$), но не выше рабочей. Задачей термической стабилизации является получение необходимых механических свойств пружинного материала с сохранением определенного запаса пластичности и снятие наклепа в поверхностном слое проволоки. Исследование термически стабилизированных образцов показало, что их упругие и демпфирующие свойства несколько отличаются от свойств образцов, не прошедших термической стабилизации. Прежде всего это относится к изменению коэффициента трения в местах контакта проволочных пар, который \bar{R} растет при появлении слоя окалины. Обобщенная сила трения \bar{R} увеличивает свое значение до 30%, эффективный модуль упругости \bar{E}^* уменьшает значение до 20%. Эту особенность термически стабилизированных опор необходимо учитывать в расчетах при выборе оптимальных характеристик.

Исследование других типов опор из материала МР, работающего на изгиб, в частности, колодочных опор, полностью подтвердило основные выводы, полученные при изучении опор типа ЛО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панин Е. А., Мальтеев М. А. Опоры трубопроводов с применением материала МР, работающего на изгиб. См. настоящий сборник.

А. Ф. Жирнов, Е. А. Панин

ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГО-ДЕМПФИРУЮЩИХ ОПОР ТРУБОПРОВОДОВ С ПРОКЛАДКАМИ ИЗ МАТЕРИАЛА МР

Опоры трубопроводов представляют собой часть силовой схемы пневмогидравлических магистралей и являются несущими элементами, воспринимающими все виды нагрузок. Они предназначены для обеспечения необходимой статической и динамической прочности систем трубопроводов, гарантирующей надежность их работы и нормальное функционирование.

Практика показала, что условия работы оказывают существенное влияние на сохранение работоспособности опор и, в частности, на стабильность их упругих и демпфирующих характеристик.

В настоящее время широкое применение нашли фрезерованные колодочные жесткие опоры. Конструкции таких опор могут быть подвесными для группового и опорными для одиночного крепления труб.

В лабораторных условиях было проведено определенное демпфирующей способности жестких опор. Исследования проводились на вибростенде при жестком закреплении концов трубы к платформе.

Исследования показали большой разброс коэффициента поглощения системы при его малых значениях (0,05—0,09). Известно, что разброс коэффициента поглощения приводит к пропорциональному разбросу напряжений. Этим объясняется отклонение значений замеренных вибронпряжений в одних и тех же трубопроводах при различных сборках. Кроме того, следует отметить отсутствие возможности осевой компенсации при монтажных и температурных деформациях системы, а также концентрацию напряжений на трубах вблизи опор, которую подтверждают потертости и контактная коррозия. Сделанные выводы не позволяют рекомендовать жесткие опоры для применения в системах с повышенной вибронпряженностью и температурными деформациями в трубах.

В последнее время колодочные опоры все чаще применяют с фторпластовыми прокладками или с упругими прокладками из резиновых смесей. Такие конструкции уруго-демпфирующих опор (УДО) уменьшают монтажные и температурные напряжения за счет осевого проскальзывания трубы в опоре и небольших угловых перемещений, а также обладают большей демпфирующей способностью по сравнению с обычными жесткими колодками. Однако применение их невозможно при больших температурах. Кроме того, необходима металлизация прокладок, что затрудняет монтажные операции и увеличивает время сборки.

С целью повышения рабочей температуры на опорах иногда практикуется замена материала прокладки на медь или алюминий. Однако такая замена значительно увеличивает вес опоры и снижает ее амортизационные свойства.

Нами* были разработаны УДО, предназначенные для закрепления трубопроводов и электрокоммуникаций, работающих при высоких температурах. При проектировании к опоре предъявлялся ряд общих и специфических требований с учетом возможных условий ее работы:

обеспечение работоспособности опор при повышенных температурах;

обеспечение достаточной прочности при минимальном весе конструкции путем рационального проектирования, выбора материала и способа обработки;

стойкость к различным климатическим условиям и физико-химическая надежность;

сохранение свойств и работоспособности при продолжительном хранении;

взаимозаменяемость;

* В работе также принимали участие Б. М. Гуцин, С. Ф. Федоров, Л. А. Ванецов и М. А. Мальтеев.

возможность переборок и технологичность;

обеспечение металлизации и устойчивости на истирание;

стабильность упругих и демпфирующих характеристик при знакопеременной нагрузке в различных условиях;

возможность управления механическими параметрами жесткости и демпфирования;

обеспечение наибольшего рассеяния энергии.

Конструкция разработанной УДО показана на рис. 1. Она содержит упруго-демпфирующий элемент 1, представляющий собой две прокладки из материала типа металло-резины (МР) направленной структуры. При этом каждая прокладка связана с одной штампованной колодкой точечной электросваркой 3. Две колодки опоры связываются с корпусом двигателя посредством болта 4, который пронизывает две втулки 5 и фиксируется контролочной шайбой 6 (рис. 1а). Аналогична конструкция УДО для закрепления двух трубопроводов, в которой одна из втулок 5 заменена самоконтрящейся гайкой 7 (рис. 1б). Здесь D_1 и D_2 обозначают наружные диаметры труб. Всего разработано 47 двойных опор для различных сочетаний диаметров труб.

Упруго-демпфирующий элемент опоры (прокладка) выполнен в виде ленты из материала типа МР. Исходным материалом при изготовлении служит пружинная проволока, свернутая в спираль, с шагом, равным диаметру спирали. Спираль, уложенная в витки во взаимно-перпендикулярных направлениях, образует сетчатый жгут с ориентированным расположением витков. После прессования жгута образуются амортизационные прокладки требуемой жесткости. Следует отметить, что в разработанной конструкции УДО прокладка работает на сжатие (опора может воспринимать и другие виды деформаций). При изготовлении прокладки усилия прессования направляют перпендикулярно оси витков спирали. Опытные данные показали, что внешняя нагрузка также должна совпадать с направлением усилия прессования и находиться в плоскости витков материала типа МР. В случае перпендикулярного направления внешней нагрузки к плоскости витков увеличивается жесткость прокладки, в резуль-

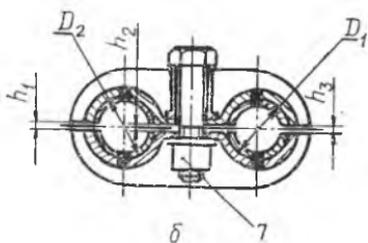
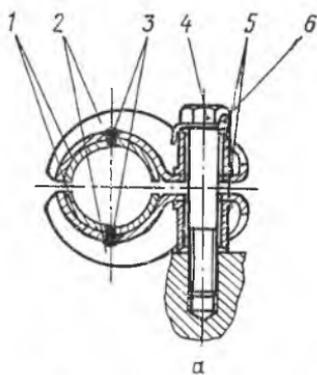


Рис. 1. Конструкции упруго-демпфирующих опор трубопроводов

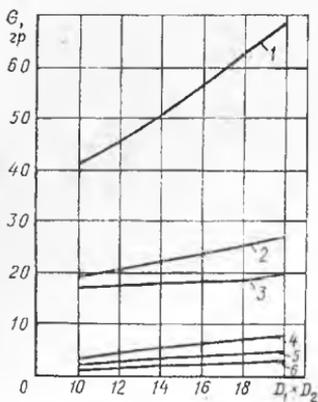


Рис. 2. Весовые характеристики хомутов и втулок
 Хомуты: 1 — стальные (по типу нормалн АН-1914); 2 — алюминиевые (по нормалн АП-1914); 3 — штампованные. Втулки: 4 — из меди; 5 — из фторопласта с металлизацией; 6 — из МР.

тате резко уменьшается демпфирование колебаний в системе «труба—опора».

На рис. 2 дан график весового распределения штампованной и фрезерованных опор, а также втулок (прокладок), выполненных из меди, фторопласта с металлизацией и материала МР для различных диаметров труб. Здесь $D_1 \times D_2$ взяты равными для сочетаний под одинаковые трубы. Из графика видно, что наиболее легкими весовыми данными обладают элементы предлагаемой УДО, причем с увеличением диаметров эта разница в весе увеличивается.

Для определения работоспособности УДО были испытаны по стандартным программам на вибропрочность и ударную прочность. В результате испытаний не было обнаружено механических повреждений УДО и труб, а также практического изменения зазоров между половинками хомутов (см. h_1 , h_2 , h_3 на рис. 1 б), что указывает на надежность работы рассматриваемой УДО при действии вибрационных и ударных нагрузок.

Кроме видимых преимуществ данной опоры, выраженных в легкости конструкции, технологичности в производстве и монтаже, достаточной прочности и т. п., необходимо было определить способность этих УДО к повышенной виброизоляции системы «труба—опора» в сравнении с известными конструкциями опор как в лабораторных условиях, так и при натурных испытаниях. Лабораторные исследования проводились на вибростенде посредством кинематического возбуждения системы, осуществляемого по гармоническому закону. Оценка демпфирующей способности УДО производилась путем сравнения величин максимальных резонансных напряжений в трубопроводе у заземленного конца большего пролета. Такая оценка справедлива лишь в случае неизменной жесткости системы. Экспериментально обнаружено, что резонансная частота, а следовательно и жесткость системы практически не меняются при замене прокладок.

Регистрация напряжений и виброперегрузки осуществлялась на резонансных режимах по первой и второй формам колебаний. В эксперименте положение опоры, характеризующееся величиной $\bar{a} = \frac{a}{L}$ (a — длина большего пролета, L — длина системы), принимало значения от 0,5 до 0,2. Отметим, что опора, в зависимости от формы колебаний трубопровода, может быть нагружена поперечной силой, моментом или их сочетанием. Так,

при колебаниях по первой форме при $a=0,5$ опора нагружена только поперечной силой, а при колебаниях по второй форме при том же положении опоры — только моментом. При $a=0,4 \div 0,2$ опора нагружена поперечной силой и моментом одновременно.

Результаты испытаний отражены на графиках рис. 3. Здесь представлены резонансные напряжения на различных уровнях виброскорости для опор с медной прокладкой (обозначенной $ж$ на рис. 3), с фторопластовой металлизированной прокладкой (Φ_m) и с прокладкой из материала МР. Зачерненные условные обозначения относятся к данным по второй форме, остальные — по первой. Лабораторные исследования показали, что лучшей демпфирующей способностью обладают штампованные цельнометаллические УДО с прокладкой из материала МР, снижающие резонансные напряжения в 2,5—3 раза по сравнению с опорами, имеющими медные прокладки. Фторопласт по демпфирующей способности занимает промежуточное положение. Причем с уменьшением общей длины системы вибронпряженность на резонансных режимах падает. Такая же тенденция наблюдается при изменениях формы колебаний с первой на вторую. Необходимо отметить, что демпфирующая способность прокладки из материала МР в значительной степени зависит от предварительного ее обжатия, т. е. от величины момента затяжки болта, а также толщины прокладки. Замечено, что уменьшение момента затяжки и увеличение толщины прокладки уменьшают резонансные напряжения в трубопроводах.

Как было отмечено, кроме лабораторных исследований были проведены натурные испытания трубопроводной системы на двигателе. Схема расположения трубопроводов части воздушной магистрали представлена на рис. 4. Здесь промежуточные фре-

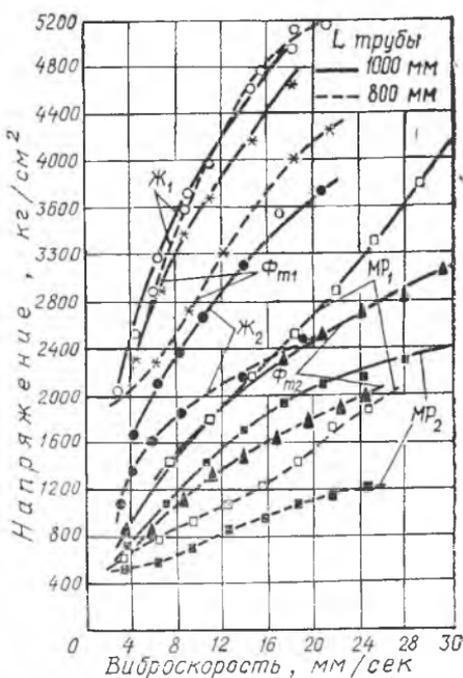


Рис. 3. Результаты вибрационных испытаний опор с различными прокладками

- | | | |
|---|------------------------------------|-----------|
| ○ | — с медной прокладкой ($Ж_1$) | } $a=0,5$ |
| △ | — с фторопластовой (Φ_{m1}) | |
| □ | — с прокладкой из МР ($МР_1$) | |
| ● | — с медной прокладкой ($Ж_2$) | } $a=0,2$ |
| ▲ | — с фторопластовой (Φ_{m2}) | |
| ■ | — с прокладкой из МР ($МР_2$) | |

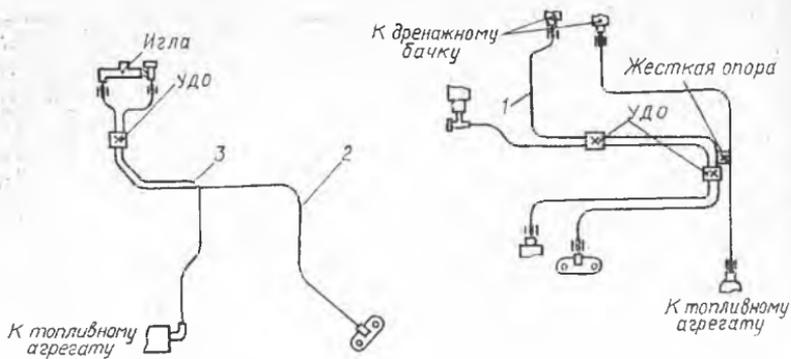


Рис. 4. Схема узлов исследуемых трубопроводов

зерованные опоры в процессе тензометрирования заменялись разработанными штампованными с материалом МР. Такие опоры на рисунке обозначены УДО. Кроме них имеется жесткая опора, которая во время эксперимента не претерпевала изменений. Для испытаний были выбраны воздушные трубопроводы, поскольку они не охлаждаются рабочим телом и вследствие этого имеют повышенную температуру. Тензометрирование указанных систем проводилось в диапазоне от малого газа до максимальных оборотов на установившихся режимах с набором оборотов через 5%. При этом в ходе тензометрирования динамических напряжений на установившихся режимах проводилось визуальное наблюдение за показаниями катодных осциллографов, в случае появления в промежуточных точках напряжений, превышающих 3 кг/мм², снимались кадры. Кроме того осциллографирование напряжений проводилось в режимах приемистости

Таблица 1

Условн. № трубопр.	Название трубопровода	n %	Режим	Прокладки			
				Фт		МР	
				f гц	σ кг/мм ²	f гц	σ мм ²
1	Подвод давления к дренажному бачку	90,4	Устан.	340	2,4	—	<1
		92,5	Макс.	340	1,8	—	<1
		90,6	Устан.	320	1,8	350	1,8
		48,5	МГ-Макс.	320	1,7	400	1,8
2	Подвод давления к воздушному фильтру	90	Устан.	200	4,0	200	2,6
		90	Устан.	360	1,5	240	1,5
		90	МГ-Макс	190	3,9	204	3,1
3	Подвод давления к топливному агрегату	90	Устан.	710	2,2	800	2,0
		90,6	Устан.	670	2,6	800	2,1
		87,5	МГ-Макс.	670	2,4	700	1,6

при непрерывном тензометрировании. Таким образом, тензометрирование проводилось дважды — при обычных опорах и при постановке разработанных. Замер напряжений производился тензодатчиками сопротивления по четыре в сечении, с наклеенными вблизи арматуры трубопроводов, т. е. в местах, наиболее подверженных дефектам. Из рассмотрения рис. 3 и таблицы видно, что данные натуральных испытаний согласуются с данными лабораторных исследований, т. е. опора с прокладкой из МР снижает динамические напряжения в отличие от опоры с прокладкой из фторопласта.

В подтверждение лабораторных испытаний все системы трубопроводов, расположенные в зонах высоких температур, проходили длительные испытания на двигателе. Визуальное обследование после испытаний показало отсутствие механических повреждений в опорах и выработки материала труб под опорами.

По цвету прокладок из материала МР можно приблизительно определить температуру в зоне расположения опоры. Для этого воспользуемся результатами, полученными при обжиге прокладок в печи:

- белый — 293 К;
- бело-светло-желтый — 373 К;
- светло-желтый — 473 К;
- желтый — 573 К;
- фиолетовый — 673 К;
- темно-синий — 773 К.

Исследования разработанной опоры показали, что она отвечает как общим, так и специфическим требованиям, предъявляемым при ее проектировании, а также обладает большей способностью по демпфированию колебаний и уменьшению монтажных напряжений системы «труба — опора» по сравнению с другими опорами.

И. Д. Эсин, Ю. К. Пономарев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБОБЩЕННЫХ УПРУГО-ФРИКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕМПФЕРОВ И АМОРТИЗАТОРОВ С КОНСТРУКЦИОННЫМ ДЕМПФИРОВАНИЕМ

В настоящей работе и в [1, 2] методом, предложенным в [2, 3], определены обобщенные упруго-фрикционные характеристики (УФХ) изделий (рис. 1 а÷п) в виде полей упруго-гистерезисных петель в критериальных координатах η — ξ , равных

$$\eta = \frac{P}{T}; \quad \xi = \frac{y}{a}, \quad (1)$$

и зависимостей коэффициента рассеивания Ψ и средней относительной циклической жесткости γ , определяемых соотношениями

$$\psi = 2\Delta W/P_0A; \quad \gamma = C_{ср}/C_p, \quad (2)$$