

Предположение о том, что флоккулы разрушаются из-за сил слишком мощного входного потока можно перенести и на действие центробежного поля. Понятно, что с ростом напряжённости поля силы, связывающие агрегат, не в состоянии будут удерживать частицы, образующие флоккулу. Поэтому для предотвращения процессов разрушения флоккул необходимо уменьшать частоту вращения ротора центрифуги с учетом ослабления действия центробежных сил.

Различие коэффициентов очистки для растворов с флокулянтами и без них, при одной и той же объёмной нагрузке, подтверждает версию о зависимости времени осаждения частицы от её диаметра. Данная модель применима для описания поведения процесса разделения суспензии и может быть использована для оптимизации режимов работы центрифуги.

Выводы

Создана установка для экспериментального исследования режимов работы горизонтальной центрифуги со шнековой выгрузкой осадка для апробации алгоритмов управления и получения максимальной степени очистки урансодержащих растворов, а также получения осадка требуемой влажности.

Экспериментально доказана применимость модели на основе уравнений гидравлики для описания процесса центрифугирования суспензии. Для шнековых центрифуг необходимо, чтобы время выгрузки шнеком было не менее времени осаждения частицы.

Достигнута эффективная очистка растворов от нерастворимых примесей за счёт регулирования частоты вращения ротора и шнека центрифуги.

Степень очистки растворов от примесей увеличивается при снижении подачи суспензии в центрифугу в пределах 2...0,5 м³/ч в 5 раз без флокулянтов и в 12 раз с применением флокулянтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Судариков Б.Н., Раков Э.Г. Процессы и аппараты урановых производств. – М.: Машиностроение, 1968. – 381 с.
2. Виноградов А.П. Аналитическая химия урана. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 433 с.
3. Колодников И.А., Кладиев С.Н. Применение частотных преобразователей в схеме управления электроприводами центрифуги // Современные техника и технологии: Сб. трудов XIV Междунар. практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых в 3-х томах. Т. 1. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – С. 390–392.

4. Соколов В.И. Центрифугирование. – М.: Химия, 1976. – 408 с.
5. Шкоропад Д.Е., Новиков О.П. Центрифуги и сепараторы для химических производств. – М.: Химия, 1987. – 256 с.
6. Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А. и др. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. – М.: Логос; Высшая школа, 2003. – 912 с.

Поступила 07.05.2010 г.

УДК 62-567.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И РАСЧЁТ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ АМОРТИЗАТОРОВ ОТ ДЕФОРМАЦИИ

Л.В. Поздеев, Г.П. Целищев, Г.С. Цехмestрюк

ОАО «Научно-производственный центр «Полюс», г. Томск
E-mail: polus@online.tomsk.net

Приведены результаты испытаний резинометаллических амортизаторов типа АРМОО и АКСС при различной деформации. Показана зависимость их параметров от уровня механического воздействия. Предложена методика определения резонансной частоты оборудования на амортизаторах при заданной деформации.

Ключевые слова:

Параметры амортизаторов, деформация, амплитудно-частотная характеристика.

Key words:

Parameters of shock absorbers, deformation, amplitude-frequency characteristic.

Виброизоляция оборудования — одно из основных средств борьбы с распространением вибрации. Эффективность системы амортизации, а следовательно, и соответствие оборудования допустимым уровням вибрации и шума напрямую зависит от параметров амортизаторов.

В ряде случаев, когда основной целью амортизации является вибро- и звукоизоляция амортизируемого объекта от фундамента, амплитуда вибронагружения амортизаторов в номинальном режиме работы изделия настолько мала, что воспроизвести её без использования специальных испытательных

установок не представляется возможным. Так, уровни вибрации маломощного судового оборудования (самый распространенный тип которого – центробежные электровентиляторы) в номинальном режиме работы составляют десятые доли мкм.

В связи с этим актуальным становится вопрос о корректности определения параметров резинометаллических амортизаторов (АКСС, АРМОО и др.) и расчёта амортизирующих креплений при выборе их типа для данной группы оборудования.

Цель настоящей работы – достоверное определение основных эксплуатационных параметров амортизаторов при реальных уровнях рабочего нагружения.

При проектировании амортизирующих креплений необходимо определить их назначение [1]:

- виброизоляция (звукоизоляция) от фундамента;
- противоударная защита;
- антивибрационная защита;
- одновременное сочетание указанных выше функций.

Именно назначение крепления служит основным исходным критерием для выбора типа амортизаторов. В дальнейших расчётах используются механические характеристики (параметры) амортизаторов, приведённые в технических условиях на выбранный тип:

- номинальная статическая нагрузка на амортизатор P_x, P_y, P_z в трёх взаимно перпендикулярных направлениях его осей, Н;
- резонансная частота f_p оборудования на амортизаторах, Гц;
- статическая и динамическая жёсткости C_x, C_y, C_z (вибрационная – C_{xb}, C_{yb}, C_{zb} и ударная – C_{xy}, C_{yz}, C_{zy}), соответствующие деформированию амортизатора в направлении его осей, Н/м;
- механическое сопротивление амортизатора Z_x, Z_y, Z_z , соответствующее деформированию в направлении его осей, Н·с/м.

Статическую жёсткость амортизаторов определяют по уровню осадки в момент достижения номинального значения нагрузки.

В случае линейной нагрузочной характеристики «сила – деформация» жёсткость вычисляется по формуле

$$C = \frac{P}{\Delta},$$

где P – номинальная статическая нагрузка; Δ – уровень осадки в момент достижения номинального значения нагрузки.

Резинометаллические амортизаторы обладают нелинейностью характеристики «сила – деформация», вызываемой геометрическими особенностями резиновых элементов, асимметричностью прилагаемой нагрузки и структурными изменениями в материале при действии внешней силы. Эта нелинейность необходима, если амортизирующее крепление должно обеспечивать одновременно эффективную виброизоляцию (звукоизоляцию)

амортизируемого объекта от фундамента и его антивибрационную и противоударную защиту. В этом случае статическая жёсткость может быть корректно определена по касательной, проведённой к кривой «сила – деформация» в точке, соответствующей уровню нагрузки $P_{ст}$ (рис. 1):

$$C = \operatorname{tg} \alpha = \frac{dP}{dx}.$$

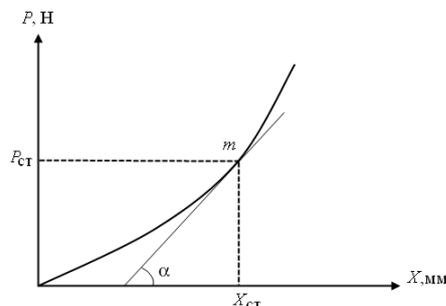


Рис. 1. Определение статической жёсткости амортизатора

Другие параметры амортизаторов определяются по амплитудно-частотной характеристике (АЧХ), получаемой при их номинальной статической нагрузке из соотношений [2, 3]:

$$C = \omega_p^2 M = (2\pi f_p)^2 \frac{P}{g};$$

$$Z = \frac{F}{V} = \frac{Ma}{\omega_p \delta} = \omega_p M = 2\pi f_p \frac{P}{g},$$

где $\omega_p = 2\pi f_p = \sqrt{\frac{C}{M}}$ – круговая резонансная частота; M – масса эквивалента нагрузки, нагружающего амортизатор; f_p – резонансная частота эквивалента нагрузки; g – ускорение свободного падения; F – сила, нагружающая амортизатор; V – скорость системы; a – ускорение, сообщаемое эквиваленту нагрузки; δ – деформация амортизатора.

Резонансная частота резинометаллических амортизаторов зависит от амплитуды виброн нагружения, поэтому при определении параметров амплитуду необходимо поддерживать постоянной и равной деформации амортизаторов при эксплуатации амортизируемого оборудования [4].

Для корректного определения частоты резонансных колебаний нагрузки на амортизаторах и расчёта по вышеприведённым формулам параметров последних используется следующая методика.

1. Четыре амортизатора устанавливают на специальную монтажную плиту, к которой крепится эквивалент нагрузки, обеспечивающий их номинальную статическую нагрузку (рис. 2). Собранный установка закрепляется на столе вибростенда. Виброизмерительные преобразователи (ВИП) располагаются в центре эквивалента нагрузки и в местах крепления амортизаторов на установке, их оси ориентируются по направлению действия вибрации.



Рис. 2. Установка для испытаний: 1) эквивалент нагрузки; 2) монтажная плита; 3) амортизаторы

2. Для обеспечения заданной деформации амортизаторов все ВИП включаются в управление обратной связью вибрационной системы, при этом управление осуществляется по максимальному из значений амплитуд виброперемещения, полученных с помощью ВИП.
3. При постоянном значении заданной амплитуды виброперемещения плавно изменяется частота в диапазоне от 3 до 35 Гц со скоростью не более 1 окт./мин.
4. Определяются резонансные частоты эквивалента нагрузки на амортизаторах по АЧХ в режиме реального времени или при обработке результатов испытаний.

Резонансной является частота, на которой амплитуда виброперемещения, полученная с помощью ВИП, установленного в центре эквивалента нагрузки, максимальна по отношению к амплитуде в месте крепления амортизатора на установке.

В практике на судовом оборудовании широко применяются амортизаторы типа АКСС. В связи с этим проведены их сравнительные испытания с амортизаторами типа АРМОО [5], разработанными ОАО «НПЦ «Полус» с целью наиболее полного обеспечения эффективности виброизоляции.

В результате испытаний амортизаторов типа АРМОО и АКСС, используемых для упругого закрепления центробежных судовых электровентилаторов, получены их АЧХ и рассчитаны вибрационная жёсткость и механическое сопротивление в осевом и радиальном направлениях при различной амплитуде виброн нагружения (табл. 1 и 2).

Усреднённые значения параметров амортизаторов типа АКСС соответствуют деформации в горизонтальном направлении Y_0 (рис. 3).

Полученные данные подтверждают снижение резонансной частоты эквивалента нагрузки на амортизаторах при увеличении их деформации, что приводит к изменению параметров. Эта зависимость близка к линейной при логарифмическом масштабе по деформации (рис. 4), характерна для обоих типов амортизаторов и вызвана увеличением амплитуды силы их упругого сопротивления при

увеличении амплитуды деформации и, как следствие, уменьшением коэффициента демпфирования, который может быть определён по формуле

$$\gamma = \frac{R}{S},$$

где R и $S=C\delta$ – амплитуда сил неупругого и упругого сопротивлений [6].

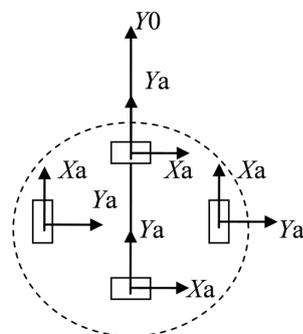


Рис. 3. Взаимное расположение осей амортизаторов АКСС (X_a , Y_a) и направления воздействия вибрации (Y_0) при определении АЧХ в горизонтальной плоскости

Таблица 1. Параметры амортизаторов, определенные при различных значениях деформации в радиальном направлении

Тип амортизатора	Параметр	Значение параметра при деформации амортизатора δ , мм						
		0,50	0,80	1,00	1,60	2,00	3,20	
АРМОО-10	f_p , Гц	10,90	10,50	10,30	9,90	9,80	–	
	C , кН/м	46,81	43,44	41,88	38,62	37,84	–	
	Z , кН·с/м	0,68	0,66	0,65	0,62	0,62	–	
АРМОО-15	f_p , Гц	11,20	10,60	10,30	9,90	9,40	–	
	C , кН/м	74,14	66,40	62,70	57,92	52,22	–	
	Z , кН·с/м	1,06	1,00	0,97	0,93	0,89	–	
АРМОО-25	f_p , Гц	15,37	14,91	14,24	13,87	–	–	
	C , кН/м	232,69	218,97	199,74	189,49	–	–	
	Z , кН·с/м	2,41	2,34	2,24	2,18	–	–	
АРМОО-40	f_p , Гц	10,92	10,51	10,25	10,22	9,97	9,17	
	C , кН/м	187,93	174,09	165,58	164,61	156,66	132,52	
	Z , кН·с/м	2,74	2,64	2,57	2,57	2,50	2,30	
АРМОО-10М	f_p , Гц	9,41	8,95	8,75	8,61	8,32	–	
	C , кН/м	34,89	31,56	30,17	29,21	27,27	–	
	Z , кН·с/м	0,59	0,56	0,55	0,54	0,52	–	
АРМОО-15М	f_p , Гц	9,12	8,78	8,52	7,80	7,63	–	
	C , кН/м	49,16	45,56	42,90	35,96	34,41	–	
	Z , кН·с/м	0,86	0,83	0,80	0,73	0,72	–	
АРМОО-40М	f_p , Гц	5,98	5,71	5,56	5,31	4,94	4,75	
	C , кН/м	56,36	51,38	48,72	44,44	38,46	35,56	
	Z , кН·с/м	1,50	1,43	1,40	1,33	1,24	1,19	
АКСС-10М	f_p , Гц	56,05	50,85	50,12	45,52	–	–	
	C , кН/м	1237,79	1018,77	989,73	816,40	–	–	
	Z , кН·с/м	3,52	3,19	3,15	2,86	–	–	
АКСС-15М	f_p , Гц	26,20	25,90	25,90	25,22	–	–	
	C , кН/м	405,69	396,45	396,45	375,90	–	–	
	Z , кН·с/м	2,47	2,44	2,44	2,38	–	–	
АКСС-25И	f_p , Гц	20,14	20,01	20,00	19,32	–	–	
	C , кН/м	499,54	394,39	394,00	367,66	–	–	
	Z , кН·с/м	3,16	3,14	3,14	3,03	–	–	

Таблица 2. Параметры амортизаторов в осевом направлении

Тип амортизатора	Параметр	Значение параметра при деформации амортизатора δ , мм						
		0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,00	1,60
АРМОО-10, 10М	f_p , Гц	19,60	19,50	18,90	18,50	17,30	17,10	16,20
	C , кН/м	151,36	159,82	140,74	134,85	117,92	115,21	103,40
	Z , кН·с/м	1,23	1,22	1,19	1,16	1,09	1,07	1,02
АРМОО-15, 15М	f_p , Гц	19,06	18,79	18,67	18,18	17,40	16,78	15,97
	C , кН/м	214,70	208,66	206,00	195,33	178,93	166,41	150,73
	Z , кН·с/м	1,80	1,77	1,76	1,71	1,64	1,58	1,50
АРМОО-25, 25М	f_p , Гц	17,13	16,99	16,72	15,37	14,41	14,19	13,56
	C , кН/м	289,04	284,33	275,37	232,69	204,53	198,34	181,12
	Z , кН·с/м	2,69	2,67	2,63	2,41	2,26	2,23	2,13
АРМОО-40	f_p , Гц	16,18	15,95	15,51	14,67	13,96	13,25	12,93
	C , кН/м	412,58	400,94	379,12	339,17	307,13	276,69	263,48
	Z , кН·с/м	4,06	4,01	3,90	3,69	3,51	3,31	3,25
АРМОО-40М	f_p , Гц	15,43	15,25	14,30	13,35	12,60	12,30	11,60
	C , кН/м	375,22	366,52	322,28	280,88	250,21	238,43	212,07
	Z , кН·с/м	3,88	3,83	3,59	3,35	3,17	3,09	2,91
АКСС-10М	f_p , Гц	79,09	73,29	67,91	60,91	53,80	45,47	39,37
	C , кН/м	2464,56	2116,34	1817,04	1461,75	1140,41	814,60	610,70
	Z , кН·с/м	4,97	4,60	4,26	3,83	3,38	2,86	2,47
АКСС-15М	f_p , Гц	32,68	32,14	31,34	29,40	28,04	27,32	27,11
	C , кН/м	631,18	612,01	580,48	510,84	464,67	441,11	434,36
	Z , кН·с/м	3,08	3,03	2,95	2,77	2,64	2,57	2,55
АКСС-25И	f_p , Гц	20,07	19,69	19,32	19,03	18,60	18,11	17,70
	C , кН/м	396,76	381,88	367,66	356,71	340,77	323,05	308,59
	Z , кН·с/м	3,15	3,09	3,03	2,99	2,92	2,84	2,78

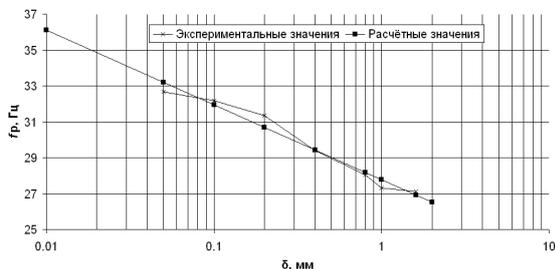


Рис. 4. Зависимость резонансной частоты эквивалента нагрузки на амортизаторах типа АРМОО и АКСС в осевом направлении от уровня деформации

При малых уровнях деформации уменьшение силы упругого сопротивления приводит к увеличению коэффициента демпфирования и, как следствие, к повышению резонансной частоты

$$f_p = \sqrt{\frac{C(1-\gamma)}{m}},$$

где m – масса нагрузки [6].

Следовательно, с изменением уровня деформации амортизаторов будут изменяться значения всех их механических параметров. Поэтому судить об эффективности использования амортизаторов в номинальном режиме работы изделия можно только по параметрам, полученным при постоянной деформации именно в этом режиме. Проведя линию тренда к рассматриваемой зависимости, можно определить угол её наклона по выражению

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta f}{\Delta \ln(1/\delta)},$$

где Δf – изменение частоты, Гц.

Из соотношения

$$\Delta f_{\delta} = \ln(1/\delta) \operatorname{tg} \alpha$$

вычисляем изменение резонансной частоты при заданной деформации амортизаторов.

Таким образом, резонансная частота оборудования на амортизаторах при заданной деформации равна

$$f_{p\delta} = \Delta f_{\delta} + f_1,$$

где f_1 – резонансная частота при деформации 1 мм.

Полученные зависимости позволяют установить параметры амортизаторов в режимах, соответствующих реальным условиям.

Расчётные значения f_p резинометаллических амортизаторов типа АРМОО и АКСС приведены в табл. 3.

Таблица 3. Значения f_p амортизаторов типа АРМОО и АКСС в осевом направлении

Тип амортизатора	Значение f_p , Гц, при деформации δ , мм				
	1	0,1	0,01	0,001	0,0001
АРМОО-10	17,1	19,4	21,6	23,9	26,2
АРМОО-15	16,9	18,9	20,8	22,8	24,7
АРМОО-25	14,3	16,8	19,4	22,0	24,6
АРМОО-40	13,8	15,8	17,8	19,8	21,8
АКСС-15М	27,8	31,9	36,1	40,3	44,4
АКСС-25И	18,2	19,7	21,2	22,7	24,2

В ходе анализа результатов испытаний по определению виброшумовых характеристик судового электрооборудования отмечено увеличение уровней вибрации на опорных связях в 1/3-октавных диапазонах частот со среднегеометрическими частотами 25; 31,5 и 40 Гц. Оно обусловлено связанными колебаниями конструкции оборудования, вызванными её несимметрией, и резонансами изделия на амортизаторах, что подтверждается расчётными значениями f_p в указанных ранее диапазонах деформации.

Выводы

1. Установлено, что увеличение деформации резинометаллических амортизаторов приводит к снижению их резонансной частоты и, как следствие, к изменению механических параметров, что подтверждается результатами сравнительных испытаний амортизаторов типа АРМОО и АКСС.
2. Показано, что для корректного определения параметров амортизаторов необходимо обеспечить режим испытаний, соответствующий режиму работы амортизаторов в реальных условиях, с целью получения достоверных значений механических параметров, учитываемых при проектировании малошумного амортизированного оборудования.
3. На основе экспериментальных данных получены зависимости, позволяющие определить параметры амортизаторов при любой деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Целишев Г.П., Цехмestрюк Г.С., Курочкин А.А., Руссков В.В., Митин С.В. Методика расчёта низкочастотных амортизаторов для корабельного оборудования // Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. науч. тр. – Новосибирск: Наука, 2007. – 552 с.
2. Ляпунов В.Т., Лавендел Э.Э., Шляпочников С.А. Резиновые виброизоляторы: Справочник. – Л.: Судостроение, 1988. – 216 с.
3. Ильинский В.С. Защита аппаратов от механических воздействий. – М.: Энергия, 1970. – 320 с.
4. Поздеев Л.В. К определению механических параметров амортизаторов // Современная техника и технологии: Труды XV Междунар. научно-практ. конф. молодых учёных. – Томск, 2009. – Т. 1. – С. 463–464.
5. Сборный резинометаллический амортизатор с осевым ограничителем АРМОО: пат. 2358167 Рос. Федерация; заявл. 10.09.2007; опубл. 10.06.2009, Бюл. № 16. – 7 с.: ил.
6. Беляковский Н.Г. Конструктивная амортизация механизмов, приборов и аппаратуры на судах. – Л.: Судостроение, 1965. – 523 с.

Поступила 12.04.2010 г.

УДК 62-192

НАДЕЖНОСТЬ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

А.И. Реутов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
E-mail: aireutov@yandex.ru

Предложена статистическая модель оценки надежности по критерию конструкционной прочности изделий из полимерных композиционных материалов. Приведены данные о рассеянии и статистической изменчивости характеристик полимерных материалов на основе полипропилена на этапах жизненного цикла изделия – проектирования, производства и эксплуатации.

Ключевые слова:

Полимерные материалы, статистические характеристики, надежность изделий.

Key words:

Polymeric material, statistical characteristics, reliability of products.

Полимерные материалы в изделиях применяются для замены традиционных материалов и в новых технологиях. Из них изготавливают конструкционные детали различного назначения.

Полимерные композиционные материалы на основе полипропилена (ПП) широко используют во многих отраслях промышленности. Это большая номенклатура марок ПП, включающая базовые марки полипропилена, рандом сополимер (статсополимер), блок-сополимер, наполненные и морозостойкие композиции. Из полимерных материалов на основе полипропилена изготавливают комплектующие детали автомобилей: бамперы, панели приборов, спойлеры, корпуса аккумуляторов; корпусные детали бытовой техники, трубы, фитинги, пленки различного назначения и др.

Расширение сферы применения полимерных материалов в промышленности сдерживается отсутствием научно обоснованного подхода к выбору критериев работоспособности, методов оценки надежности изделий, недостаточным опытом их эксплуатации в различных условиях. В настоящее время отсутствуют экспериментальные данные и методы оценки надежности, учитывающие особенности поведения полимерных материалов. Особенностью полимерных композиционных материалов является значительное рассеяние прочностных и деформационных характеристик в исходном состоянии, а также их изменение и рассеяние в процессе эксплуатации. Кроме того, отсутствуют методы оценки надежности изделий из полимерных ма-

териалов на этапах проектирования, производства и эксплуатации с учетом статистической изменчивости их характеристик.

В соответствии с изложенным, была разработана методология прогнозирования надежности изделий из полимерных материалов по различным критериям.

Методология прогнозирования надежности включает следующее:

- выбор критерия работоспособности на основе анализа изделия, его назначения, режима работы, условий эксплуатации, вида ожидаемых отказов;
- установление комплекса механических и теплофизических характеристик полимерных композиционных материалов на основе критерия работоспособности изделия;
- разработку новых методов и устройств определения механических и усадочных характеристик, учитывающих особенности материалов;
- разработку вероятностно-статистических моделей оценки надежности изделий из полимерных композиционных материалов на этапах проектирования, производства и эксплуатации;
- исследование статистической изменчивости деформационно-прочностных и усадочных характеристик материалов на этапах жизненного цикла изделия;
- установление взаимосвязей между надежностью и характеристиками материала, входящих в модель надежности на этапах проектирования, производства и эксплуатации.