



Методика оценки виброактивности агрегатированного гидравлического прибора в условиях испытательного стенда

А. А. Франтов	кандидат технических наук, старший научный сотрудник – заместитель главного акустика; АО «Концерн «НПО Аврора», г. Санкт-Петербург; email: aafrantov@gmail.com
Ю. А. Гладилин	кандидат технических наук, доцент, главный акустик; АО «Концерн «НПО Аврора», г. Санкт-Петербург; email: gladil_01@mail.ru
Н. В. Пялов	кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; АО «Концерн «НПО Аврора», г. Санкт-Петербург; email: afx7cu@mail.ru

В настоящей работе рассматривается вопрос оценки виброактивности сложных многоканальных агрегатированных гидравлических приборов (АП), сочетающих в своей конструкции несколько одновременно задействованных рабочих элементов (дроссели, золотники), проточные каналы сложной геометрии, элементы управления задачей режимов. В таких условиях крайне важно определить вклад основных элементов в результирующую вибрационную характеристику устройства. Для выполнения указанных работ необходимо разработать порядок и методику их выполнения. В представленной работе приводятся основные положения разработанной методики и результаты их реализации, включающие в себя следующую последовательность действий:

- *Перед установкой на стенд АП проводилось определение собственных частот свободных колебаний конструкции и её элементов путём его свободного подвеса. Полученные результаты учитывались при последующем анализе.*
- *Разработана программа выполнения измерений вибрационных характеристик АП на различных гидравлических режимах его работы. Составлена карта точек контроля вибрации, определяющая характеристики конкретных элементов конструкции АП.*
- *Разработана форма представления и анализа вибрационных характеристик по точкам измерения с температурным распределением результатов по 1/3 октавным полосам частот.*
- *Выполнены планируемые испытания, проведён анализ результатов, определены направления работ по улучшению конструкции АП и условий его испытаний.*

Результаты применения приведённой методики при испытаниях виброактивности экспериментального образца АП позволили как определить направление улучшения его конструкции, так и оптимизировать режимы работы основных рабочих органов.

Ключевые слова: *вибрация; агрегатированный прибор; испытательный стенд; методика; виброметрия*

Цитирование: Франтов, А. А. Методика оценки виброактивности агрегатированного гидравлического прибора в условиях испытательного стенда / А. А. Франтов, Ю. А. Гладилин, Н. В. Пялов // Динамика и виброакустика. – 2025. – Т. 11, №2. – С. 19-28. DOI: 10.18287/2409-4579-2025-11-2-19-28

Введение

Снижение виброактивности оборудования систем судовой гидравлики является важной технической задачей. Вибрационные характеристики сказываются как на эксплуатационных качествах системы в целом, так и на технических параметрах корабля.

Особенно сложной задача является в случае разработки агрегатированных гидравлических приборов (АП), представляющих собой единый конструктив, обобщающий в себе различные дросселирующие устройства, каналы проточных частей сложной формы, элементы управления задачей режимов работы, а также дублирующие каналы функционирования [1].

Для выполнения такого объёмного исследования необходимо заранее разработать программу и методику проведения комплекса работ [2], определиться с целями и чётко сформулировать задачи исследования. Далее, согласно поставленным задачам, требовалось разработать методику получения, систематизации и анализа большого массива данных, включающих в себя как вибрационные характеристики, так и функциональные параметры работы АП.

Исходя из такого подхода работы выполнялись в следующей последовательности:

- Перед установкой на стенд АП проводится определение собственных частот свободных колебаний конструкции и её элементов. Полученные результаты учитываются при последующем анализе.
- Разрабатывается программа выполнения измерений вибрационных характеристик АП на различных гидравлических режимах его работы. Составляется карта точек контроля вибрации, определяющая характеристики конкретных элементов конструкции АП.
- Разрабатываются формы представления и анализа вибрационных характеристик по точкам измерения с температурным распределением результатов по 1/3 октавным полосам частот.
- Выполняются планируемые испытания, проводится анализ результатов, определяются направления работ по улучшению конструкции АП и условий его испытаний.

1 Определение собственных частот свободных колебаний конструкции прибора

Перед установкой на испытательный гидравлический стенд АП необходимо определить собственные частоты свободных колебаний конструкции и её элементов с целью последующего учёта их влияния на вибрационную характеристику функционирующего изделия. Для этого прибор свободно подвешивается и механически возбуждается ударом резинового молотка в средней зоне основного элемента конструкции (несущая плита, монолитный корпус, несущая рама и др.). Удары производятся в выбранных взаимно перпендикулярных направлениях – в нашем случае по направлению оси «Х», совпадающей с направлением подключения штуцеров гидравлических магистралей.

Измерительные головки с установленными в трёх взаимно перпендикулярных плоскостях вибропреобразователями крепятся в выбранных точках контроля на корпусе, в области основных рабочих элементов, на опорных элементах конструкции.

Анализ приводится в обобщённом виде в 1/3 октавной полосе частот в диапазоне от 5 Гц до 10 кГц. Среднеквадратичные значения вибрации по трём взаимно перпендикулярным направлениям измеряются во всех точках контроля.

Вибрационная характеристика, полученная в ходе исследования экспериментального образца АП, представлена на рисунке 1.

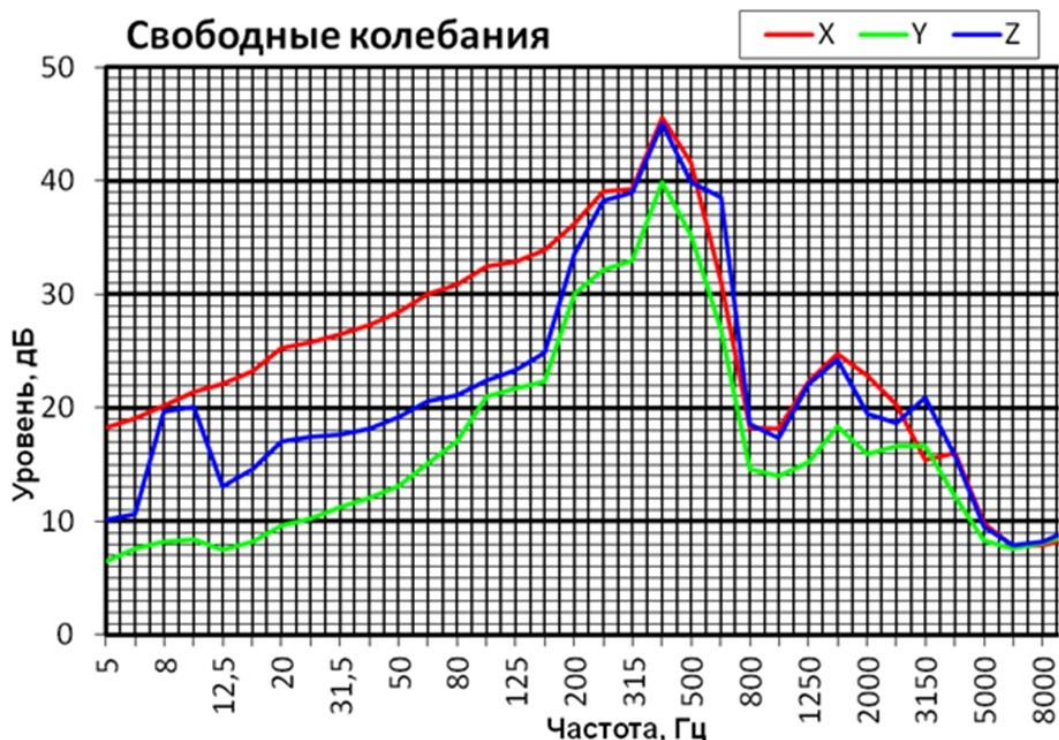


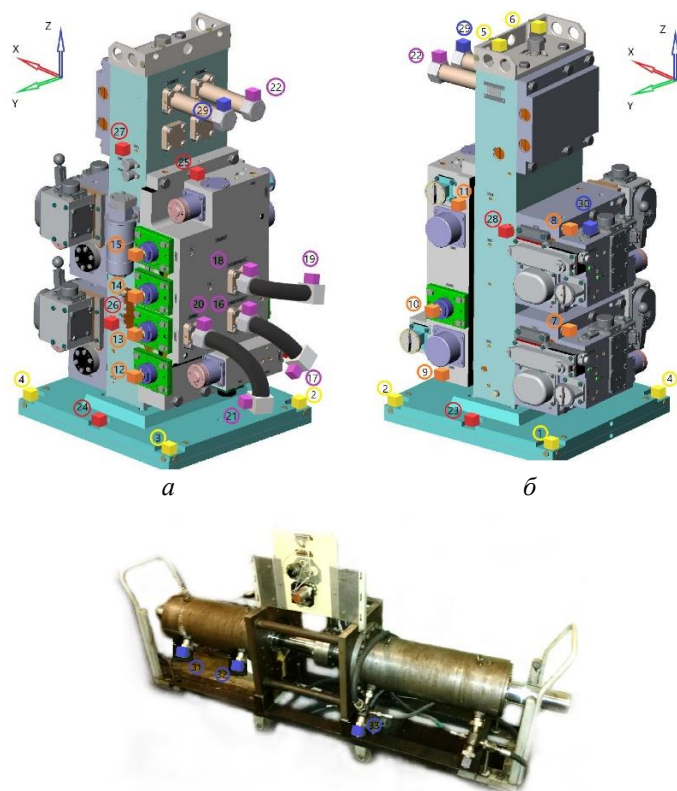
Рисунок 1 – Спектральная характеристика свободных вибрационных колебаний АП

Представленный результат достаточно наглядно характеризует основные дискретные проявления вибрационной характеристики в частотном спектре. Во всех точках контроля основная частота возмущения лежит в окрестности полосы со среднегеометрическим фильтром 400 Гц. В общем случае можно говорить, что в диапазоне частот от 200 до 600 Гц для всех точек контроля наблюдается максимальный вибрационный отклик на механическое возмущение свободноподвешенной конструкции АП.

2 Разработка программы испытаний АП

На первом этапе стендовых исследований образца АП необходимо определить места расположения точек контроля вибрации, а также разработать карту гидравлических режимов функционирования изделия на испытательном стенде [3].

При определении расположения точек измерения вибрации на поверхностях АП, подводящих трубопроводах и сопутствующем стендовом оборудовании необходимо руководствоваться размещением основных конструктивных элементов, влияющих на передачу энергии от потока рабочей среды к конструкции прибора. Тем самым локализуются потенциальные источники вибрации в агрегатированном приборе, определяется спектральное распределение вибрации от них и взаимное влияние источников по поверхности изделия, а также на штатных точках контроля вибрации. В качестве примера такого подхода к выбору точек измерения на рисунке 2 приводится их схема расположения для экспериментального образца АП, установленного на испытательном стенде.



Расположение точек измерения на СОП		
№ точки измерения	Режим испытаний	Расположение
1	Канал1.2	Опора АПС-3Х
2	Канал1.2	Опора АПС-3Х
3	Канал1.2	Опора АПС-3Х
4	Канал1.2	Опора АПС-3Х
5	Канал1.2	Упор АПС-3Х
6	Канал1.2	Упор АПС-3Х
7	Канал2	БКУ2
8	Канал1	БКУ1
9	Канал2	Р6
10	Канал2	ДрН2
11	Канал1	Р5
12	Канал2	ДрС2
13	Канал1.2	ДрС3
14	Канал1	ДрС1
15	Канал1	ДрН1
16	Канал2	Напор К2, гайка штуцера
17(19)	Канал1.2	Гайка тройника напорной магистрали
18	Канал1	Напор К1, гайка штуцера
19(17)	Канал1.2	Гайка тройника напорной магистрали
20	Канал1.2	Слив, гайка штуцера
21	Канал1.2	Гайка тройника сливной магистрали стенда
22	Канал1.2	2-Осн, гайка штуцера
23	Канал1.2	Опора АПС-3Х, между т. 1 и 2
24	Канал1.2	Опора АПС-3Х, между т. 3 и 4
25	Канал1.2	Головка болта крепления блока дросселей
26	Канал1.2	Заглушка на плите у БКУ2
27	Канал1.2	Заглушка на плите над БКУ
28	Канал1.2	Заглушка на плите у БКУ1
29	Канал1.2	1-Осн, гайка штуцера
30	Канал1.2	БКУ1 нагрузка
31	Канал1.2	Штуцер 1 Имитирующего ГЦ
32	Канал1.2	Штуцер 2 Имитирующего ГЦ
33	Канал1.2	Штуцер 1 Нагрузочного ГЦ

6

2

Рисунок 2 – Карта точек контроля вибрации:

а, б – расположение точек на АП; в – расположение точек на стендовом нагрузочном устройстве;

г – таблица точек контроля по группам

Точки измерения вибрации, расположены согласно разработанной карте точек контроля вибрации (КТКВ). Они объединены в 5 групп, исходя из типа конструктивных элементов, на которых они располагались, возможностей измерительного оборудования, сравнимости результатов в группе.

В качестве обобщённых данных вибрационных характеристик целесообразно использовать 1/3 октавные уровни вибрации, получаемые в условиях, соответствующих нормативам. Контролироваться должны как установившиеся режимы работы АП (стационарные режимы), так и переходные (нестационарные) при изменении параметров движения рабочей среды через АП, с измерением импульсной вибрации (ИВ).

Направление осей установки вибропреобразователей во всех случаях подчиняется схеме, представленной на рисунке.

Далее разрабатывается программа проведения испытаний, включающая в себя проверку стендовых характеристик и их влияние на показатели изделия, измерение штатных и дополнительных режимов работы основных элементов работы АП [4]. Для экспериментального образца АП при исследовании на измерительном стенде был разработан следующий порядок испытаний:

- Исследование спектральной картины распределения вибрации по конструкции АП с локализацией основных источников вибрации [5].
- Определение вибрационной характеристики АП на режимах с повышенным значением расхода.
- Определение уровней вибрации на переходных режимах работы АП.

- Оценка изменения уровней вибрации вследствие перераспределения перепада давления на рабочих органах АП – при изменении степени открытия золотника.
- Оценка результатов исследования и выработка технических решений, направленных на снижение виброактивности АП в условиях испытательного стенда.

3 Разработка метода получения, обобщения и анализа результатов испытаний

Ввиду большого количества точек контроля вибрационных характеристик конструкции АП, значительного перечня режимов его функционирования на измерительном стенде, а также наличия сторонних источников, влияющих на полученные характеристики, требуется внимательно подойти к вопросу анализа и обобщения полученных результатов.

Традиционно для анализа и соотнесения результатов используется графическая форма представления результатов измерения в виде графиков спектральных характеристик (рисунок 3). Такой подход удобен и нагляден в случае, когда сравниваются несколько характеристик. В случае, когда единовременному анализу подлежат десятки характеристик, удобнее пользоваться табличным представлением спектральных характеристик по точкам с выполненным температурным распределением величин по полосам (рисунок 4). Также удобно в массиве полученных данных задать выделение для выраженных составляющих частотного спектра – дискретных составляющих спектра, определяемых уровнем в полосе с 1/3-октавным фильтром, на 6 дБ превышающем уровень в соседних полосах (сплошном спектре).

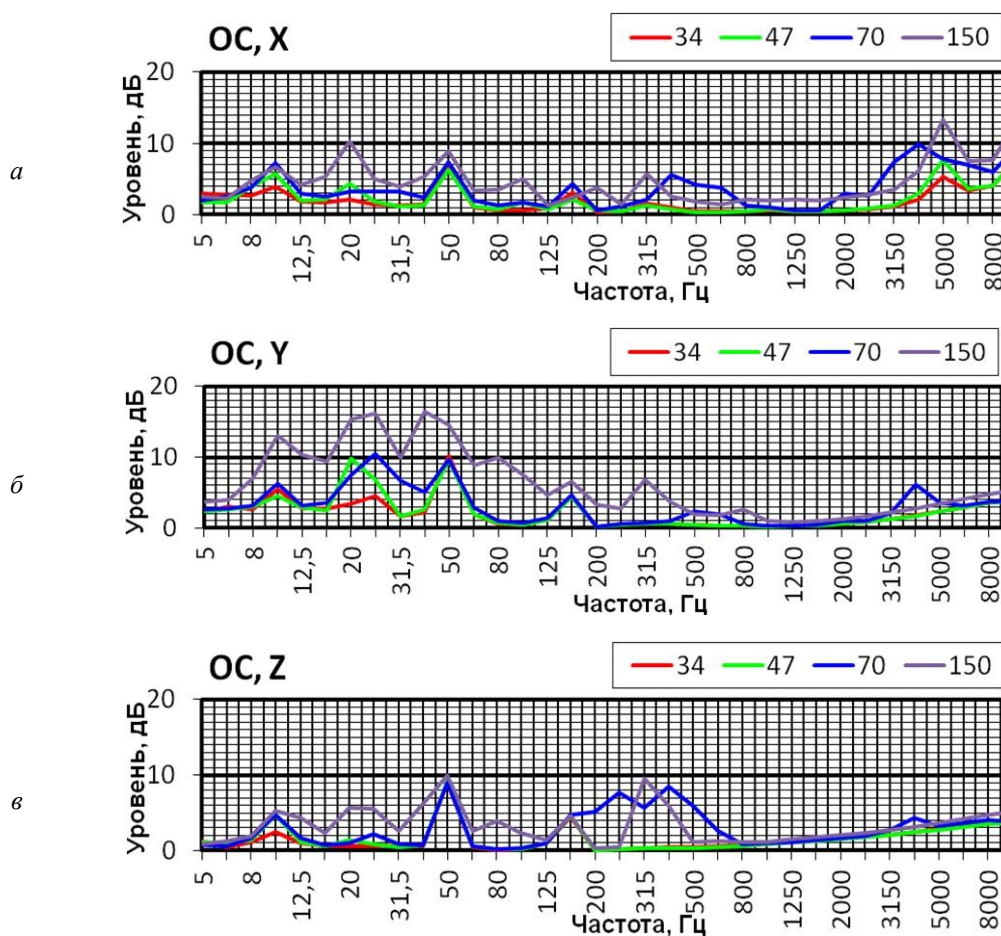


Рисунок 3 – Сравнительная характеристика стендовой вибрационной помехи в зависимости от величины расхода по осям: *a* – направление X (по потоку); *б* – направление Y; *в* – направление Z

На рисунке 4 приводятся результаты работы по построению карты вибрационных возмущений экспериментального АП, полученные в зонах размещения основных конструктивных элементов, таких как дроссели, золотники, в точках подключения стеновых трубопроводов, а также на несущей плите прибора согласно КТКВ и режима испытаний.

№ точки измер.	1/3 октавные полосы частот, Гц																																					
	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000				
1	0,0	0,0	0,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8	0,0	1,4	11,4	6,0	13,6	22,2	20,0	28,8	34,7	31,2	28,7	25,5	30,0	26,9	24,5	30,0	32,1	30,9	37,1	37,9	39,6	39,6	48,8	48,8			
2	0,0	0,0	0,0	3,4	0,5	0,0	0,0	1,3	0,0	3,0	18,9	0,1	0,2	5,5	4,8	17,2	28,4	30,7	34,6	32,7	28,6	26,8	23,9	27,3	24,8	26,7	23,4	30,8	30,5	37,6	39,0	39,3	42,7	40,8	40,8			
3	0,0	0,0	0,0	4,8	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	14,0	0,0	0,2	7,9	8,8	18,3	29,2	31,9	35,6	30,4	30,4	27,3	24,9	27,1	25,6	23,8	23,1	30,4	29,7	36,3	37,1	40,3	36,4	35,7	35,7			
4	3,4	4,1	4,1	5,3	3,7	2,6	3,0	4,0	3,2	2,6	9,4	2,2	3,2	10,6	5,4	13,6	23,0	21,1	32,5	35,6	32,3	27,5	27,3	28,0	25,4	22,7	30,0	32,3	29,9	38,1	40,3	41,3	39,7	41,2	41,2			
5	2,3	0,8	0,4	4,5	1,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,7	18,3	0,0	0,0	4,8	0,7	3,1	5,0	5,6	9,9	20,3	25,8	17,7	20,9	24,2	29,2	32,9	35,7	36,5	41,8	42,8	45,1	46,1	44,9	47,9	47,9			
6	0,0	0,0	0,0	4,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	17,2	1,0	0,0	4,7	4,1	10,6	4,7	7,7	13,1	21,0	26,2	18,9	20,5	26,3	28,9	33,5	35,9	34,9	39,5	43,9	46,1	46,8	45,2	48,8	48,8			
7	0,0	0,0	0,3	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	0,0	0,5	7,2	6,3	12,3	11,3	16,0	22,1	23,6	31,0	26,1	25,9	26,7	29,3	23,4	24,4	35,7	38,9	39,8	40,3	37,9	35,9	45,8	45,8			
8	0,0	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	1,0	13,6	0,1	0,1	2,5	5,7	12,5	16,5	19,5	20,4	26,4	30,1	24,3	27,5	28,1	31,7	32,8	37,9	44,6	50,2	51,8	58,3	58,1	54,8	57,0	57,0			
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
11	7,1	4,8	6,8	6,7	6,3	4,8	5,5	5,0	5,3	5,3	15,8	4,8	4,1	6,6	6,7	13,1	13,2	12,6	9,5	14,3	21,2	18,1	20,6	28,6	37,0	40,9	43,2	32,8	32,8	34,6	32,8	37,8	32,2	27,4	27,4			
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
13	3,3	3,3	2,5	4,8	4,1	2,1	1,6	2,6	2,0	3,0	12,2	1,4	2,8	7,3	5,5	8,5	12,4	15,8	21,6	29,8	39,1	36,4	18,0	19,4	30,4	36,2	40,2	45,5	47,8	50,3	45,1	39,9	31,1	23,0	23,0			
14	3,6	3,6	5,3	4,4	3,9	3,6	3,2	4,4	2,9	4,2	12,8	2,6	3,4	7,3	5,3	7,9	11,2	13,8	19,4	24,6	29,9	29,3	30,1	33,4	39,0	36,8	37,4	52,0	55,5	49,7	48,9	47,5	40,7	40,7	40,8			
15	3,9	4,5	4,6	5,2	4,3	2,9	2,7	3,5	3,2	2,6	8,4	1,4	2,0	3,9	4,7	3,3	9,3	13,0	17,5	23,2	29,6	30,8	32,7	37,6	47,4	50,2	43,1	42,9	41,3	49,6	48,4	47,2	43,5	41,0	41,0			
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
17/19	5,1	9,4	15,6	13,5	11,5	11,8	11,3	18,2	17,9	27,6	43,7	25,5	30,7	40,7	30,4	36,8	31,8	31,1	27,9	19,0	13,9	16,3	18,7	17,0	13,6	9,3	8,2	8,5	8,9	8,2	8,1	8,0	8,5	9,4	9,4			
18	0,0	0,0	0,0	0,5	0,6	0,0	0,3	0,0	0,0	0,2	11,1	0,0	0,0	1,9	6,0	12,4	15,2	19,9	24,1	25,1	30,3	23,2	24,8	27,1	34,3	39,9	33,0	35,0	35,7	40,2	38,7	47,2	45,7	37,3	37,3			
20	0,0	0,0	0,0	1,4	1,0	0,0	0,4	0,9	0,9	4,6	17,2	1,8	0,6	6,1	6,7	9,7	15,6	16,5	21,1	26,8	33,3	29,0	31,6	33,7	35,4	35,2	32,9	38,9	41,2	44,9	42,3	47,3	43,8	29,9	29,9			
21	8,7	6,9	12,9	16,9	17,7	18,2	13,3	18,6	18,9	17,9	31,4	14,5	22,2	27,5	14,0	15,4	14,4	13,4	11,8	6,9	5,0	2,2	0,4	2,7	1,2	5,9	6,3	11,8	10,6	6,5	6,5	12,3	14,3	7,4	7,4			
22	0,0	0,0	0,0	1,2	0,7	0,0	0,6	4,8	0,0	4,9	18,4	3,7	7,7	15,1	19,4	21,6	29,7	34,8	42,1	31,3	35,4	24,3	21,9	25,7	37,2	44,9	49,1	50,8	47,5	42,9	30,6	22,5	21,1	21,7	21,7			
23	2,2	3,7	4,3	4,3	3,6	2,8	3,1	2,9	6,0	3,2	10,3	2,5	1,8	8,0	5,3	6,4	5,3	8,9	18,5	19,3	26,2	28,2	28,3	35,0	33,3	31,5	33,3	40,9	45,5	49,3	51,1	46,8	42,5	39,6	39,6			
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	3,9	19,9	5,9	11,6	2,5	4,7	16,0	11,0	9,3	7,5	17,7	23,2	22,4	21,9	24,2	22,9	20,7	23,3	28,1	27,7	32,8	41,7	40,3	34,9	36,2	40,0	41,4	41,4			
25	4,6	4,4	4,2	4,8	4,3	3,7	3,1	3,9	3,7	2,1	5,6	1,5	1,3	2,4	2,2	3,3	10,7	14,1	14,9	23,3	29,6	24,6	26,5	28,3	32,8	35,9	36,5	44,9	34,8	41,5	41,4	43,5	46,1	43,0	43,0			
26	4,2	2,0	3,4	3,7	3,2	2,7	1,2	1,5	4,8	2,1	6,3	1,3	0,4	5,2	4,4	3,9	7,4	9,7	14,4	28,3	30,2	8,5	10,7	14,5	21,3	24,9	34,3	45,2	39,6	30,5	32,7	34,3	25,8	30,4	30,4			
27	3,8	3,6	3,8	4,7	4,8	2,9	2,7	2,2	5,5	2,6	4,5	1,4	0,9	4,3	4,1	5,4	8,9	13,4	26,0	28,7	14,3	12,0	22,2	20,5	25,6	32,1	41,1	41,0	33,5	31,6	32,2	33,4	29,1	30,8	30,8			
28	3,9	5,0	4,6	6,0	4,7	3,1	4,0	3,3	12,6	7,8	18,5	5,7	3,1	8,7	8,0	12,3	12,4	21,7	26,3	24,4	24,0	21,3	18,6	23,2	27,3	32,9	36,7	43,1	54,1	47,0	42,5	43,4	34,9	36,9	36,9			

Рисунок 4 – Вибрационная карта значений по полосам частот в направлении контроля по оси Z

Данная карта представляет собой сводную таблицу полученных 1/3 октавных характеристик вибрации для всех контролируемых точек по КТКВ по выбранной оси координат, для каждой из полос частотного спектра которой выполнено цветовое распределение величин. Также фиолетовым цветом определяются значения дискретных составляющих спектральных характеристик.

На приведённом рисунке отражена вибрационная картина для испытываемого АП на установившемся режиме работы в абсолютных значениях. Аналогичную форму анализа удобно использовать и при оценке относительных (сравнительных) величин.

4 Оценка виброактивности агрегированного гидравлического прибора

Далее выполнялись измерения вибрационных характеристик и выявлялись характерные дискретные составляющие относительно конструктивных элементов, а значит и точек измерения экспериментального образца АП согласно разработанной программе и в соответствии с КТКВ.

Первым этапом оценивались вибрационные характеристики изделия на штатных, установившихся режимах его работы с постоянными показателями величин давлений и расхода рабочей жидкости в жидкостном тракте.

Также контролю и анализу подвергалась импульсная вибрация на нестационарных режимах работы АП (при переключке режимов его работы). Её контроль осуществлялся по накопленным за время усреднения максимальным значениям уровня. Эти испытания предполагали большую информативность картины влияния рабочих органов на вибрационную характеристику изделия, однако в значительной части контролируемого частотного диапазона спектр вибрации практически не отличался от результатов, получаемых на стационарных режимах. Спектральные характеристики, разнесённые по группам контрольных точек, строго соответствовали как по уровням (расхождение в среднем от 2 до 3 дБ), так и по характерным частотам.

После получения штатных вибрационных характеристик следующим этапом исследования стало определение влияния величины открытия золотника при работе АП, которое оценивалось по сводным вибрационным картам согласно КТКВ (рисунок 5). Расход на данном режиме работы изделия поддерживался постоянным, при этом изменялась величина от-

крытия золотника, что влекло за собой перераспределение перепадов давления рабочей среды на рабочих органах прибора.

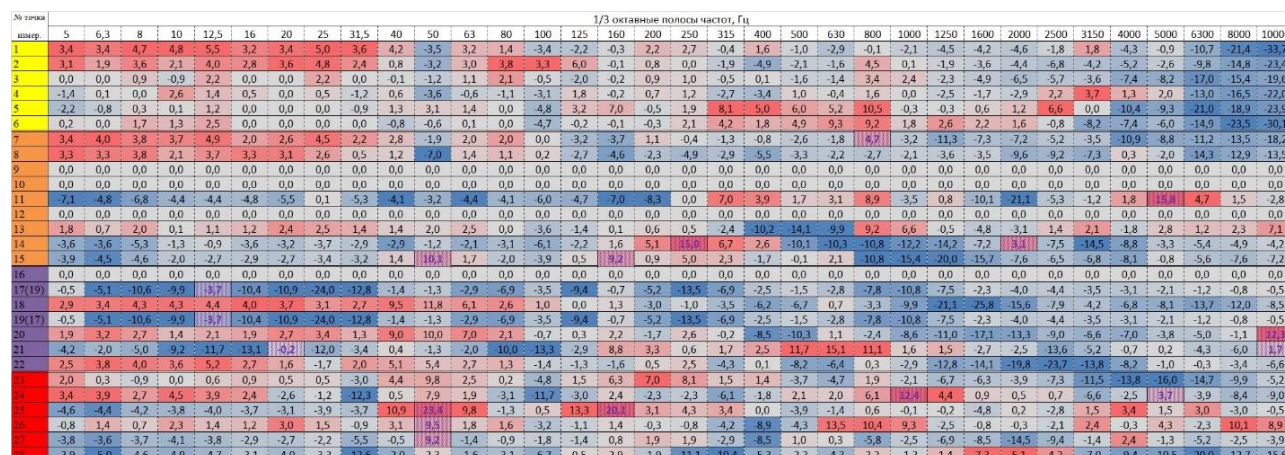


Рисунок 5 – Карта распределения отклонений вибрации при изменении значения открытия АП по оси Z:

синее – уровни вибрации уменьшаются с увеличением открытия;

красное – уровни вибрации увеличиваются с увеличением открытия

Анализ вибрационных характеристик режимов с перераспределёнными перепадами дал следующие результаты:

- Уровни вибрации на золотнике (точка 8) после перераспределения перепадов снизились в большинстве частот рассматриваемого диапазона, что закономерно, т.к. срабатываемый на нём перепад давления упал.
- На блоке дросселей, нагруженном большим перепадом давления, наблюдается рост уровней вибрации, особенно заметный в низкочастотном диапазоне.
- На опорных точках АП (точки 1–6) в целом отмечается некоторый рост уровней вибрации в средне- и низкочастотном диапазонах, а также существенное снижение в высокочастотном диапазоне.

Далее оценивалось влияние величины расхода на номинальных режимах работы АП – также по сводным вибрационным картам согласно КТКВ (рисунок 6).

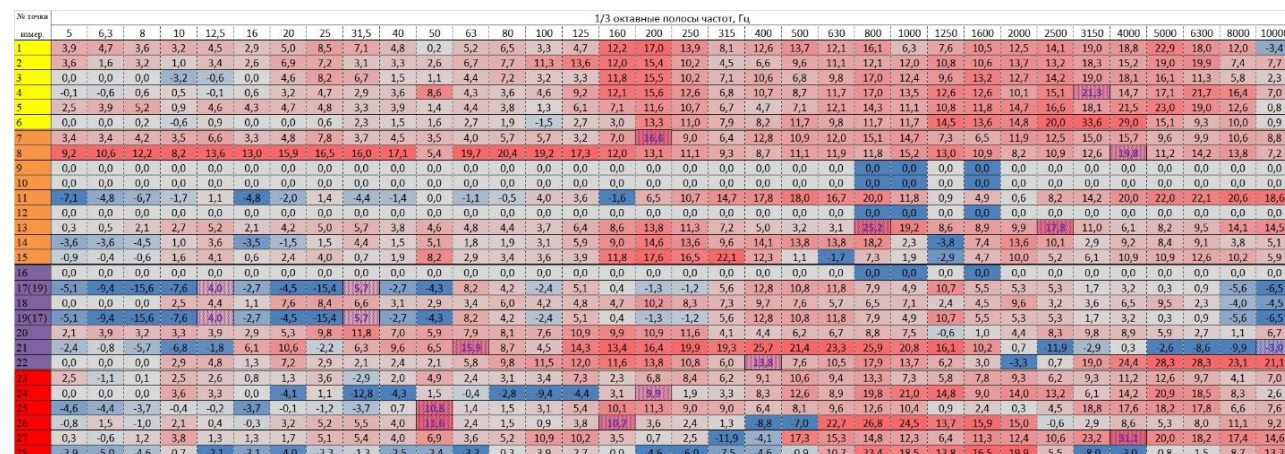


Рисунок 6 – Карта распределения отклонений вибрации при изменении значения расхода через АП по оси Z:

синее – уровни вибрации уменьшаются с увеличением расхода;

красное – уровни вибрации увеличиваются с увеличением расхода

Для этого режима испытаний сохраняется постоянной величина открытия золотника, при этом увеличивается величина пропускаемого расхода рабочей жидкости. Как и следова-

ло ожидать, практически повсеместно наблюдается увеличение вибрационной характеристики, независимо от места расположения контрольных точек и направления измерений. При этом с ростом величины расхода вибрационная характеристика также растёт.

В рамках разработанной программы испытаний и с применением рассмотренных методов оценки данных были также проведены измерения вибрационных характеристик экспериментального АП и определено влияние на них внешних нагружающих величин давления, а также работы управляющего контура.

Все эти данные позволили сформулировать обоснованные выводы и предложить ряд технических и организационных решений, положительно сказавшихся на снижении уровня вибрации как отдельных элементов, так и экспериментального АП в целом.

Заключение

Результатом представленной работы стала разработка методики проведения испытаний сложных агрегатированных гидравлических приборов на испытательном стенде, включающая в себя последовательность выполняемых операций, средства и подходы их реализации и программно-математический аппарат их анализа.

Результатом применения данной методики при выполнении испытаний виброактивности экспериментального АП стали следующие решения и рекомендации:

1. Для снижения вибрации на частотах собственных колебаний конструкции АП рекомендована доработка опорно-амортизирующей конструкции с изменением её жёсткостных и габаритных характеристик.

2. Улучшение условий проведения испытаний АП на испытательном стенде за счёт применения опорных конструкций увеличенной массы и жёсткости.

3. При работе прибора целесообразно переходить к полному открытию при соответствующей регулировке дросселей – это даёт снижение общих уровней вибрации на опорных точках.

4. Форсирование существующей конструкции по расходам более чем на 10–15 процентов от номинального нецелесообразно, исходя из полученных вибрационных характеристик. В случае необходимости увеличения расхода более чем на 15 процентов следует заменять гильзу следующей по типоряду с большим расходом.

5. Влияние нагрузки на виброактивность АП определяется её направлением действия (знаком): при положительной нагрузке виброактивность снижается, при отрицательной – увеличивается.

Список использованных источников

1. Гладилин, Ю. А. Исследование эффективности применения некоторых методов снижения виброактивности гидравлических приборов. / Ю. А. Гладилин, Н. Н. Ромашов, А. А. Франтов // *Технологические проблемы сервиса*. – № 4 (22). – 2012. – С. 10-13.
2. Голуб, Е. С. Диагностирование судовых технических средств: Справочник / Е. С. Голуб, Е. З. Мадорский, Г. Ш. Розенберг. – Москва : Транспорт, 1993. – 150 с.
3. Ширман, А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – Москва : Машиностроение, 1996. – 216 с.
4. Барков, А. В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: Учебное пособие / А. В. Барков, Н. А. Баркова. – Санкт-Петербург: Изд. центр СПбГМТУ, 2004. – 152 с.
5. Никифоров, А. С. Акустическое проектирование судовых конструкций: Справочник / А. С. Никифоров. – Ленинград : Судостроение, 1990. – 198 с.

Methodology for assessing the vibration activity of an aggregated hydraulic device under test bench conditions

A. A. Frantov	Candidate of Science (Engineering); senior researcher – deputy chief acoustician of Concern Avrora Scientific and Production Association JSC, Saint-Petersburg, Russian Federation; email: aafrantov@gmail.com
Y. A. Gladilin	Candidate of Science (Engineering); assistant professor; head of laboratory – chief acoustics of Concern Avrora Scientific and Production Association JSC, Saint-Petersburg, Russian Federation; email: gladil_01@mail.ru
N. V. Pyalov	Candidate of Science (Engineering); leading researcher of Concern Avrora Scientific and Production Association JSC, Saint-Petersburg, Russian Federation; email: afx7cu@mail.ru

In this paper, we consider the issue of evaluating the vibration activity of complex multichannel aggregated hydraulic devices (AD) that combine in their design several simultaneously involved working elements (throttles, spool valves), flow channels of complex geometry, and control elements of various modes. In such conditions, it is extremely important to determine the contribution of the main elements to the resulting vibration characteristic of the device. To perform these works, it is necessary to develop an order and methodology for their implementation. The paper presents the main provisions of the developed methodology and the results of their implementation, including the following sequence of actions:

- Before installing the AD on the bench, the natural frequencies of free vibrations of the structure and its elements were determined by its free suspension. The results obtained were taken into account in the subsequent analysis.
- A program for measuring the vibration characteristics of the AD in various hydraulic modes of operation was developed. A map of vibration control points was compiled, determining the characteristics of specific structural elements of the AD design.
- A form of presentation and analysis of vibration characteristics at measurement points with a temperature distribution of the results over 1/3 octave frequency bands was developed.
- The planned tests were carried out, the results were analyzed, and the directions of work to improve the design of the AD and its test conditions were determined.

The results of applying the above methodology in testing the vibration activity of the experimental AD sample made it possible both to determine the direction of improvement of its design and to optimize the operating modes of the main working bodies.

Keywords: vibration; aggregated device; test bench; methodology; vibrometry

Citation: Frantov, A. A., Gladilin, Y. A. and Pyalov, N. V. (2025), “Methodology for assessing the vibration activity of an aggregated hydraulic device under test bench conditions”, *Journal of Dynamics and Vibroacoustics*, vol. 11, no. 2, pp. 19-28. DOI: 10.18287/2409-4579-2025-11-2-19-28. (In Russian; abstract in English)

References

1. Gladilin, Yu. A., Romashov, N. N. and Frantov, A. A. (2012), “Investigation of the effectiveness of the application of some methods of reducing the vibration activity of hydraulic devices”, *Technical and technological problems of the service*, no. 4 (22), pp. 10-13. (In Russian)
2. Golub, E. S., Madorsky, E. Z. and Rosenberg, G. Sh. (1993), *Diagnostirovanie sudovykh tekhnicheskikh sredstv: Spravochnik* [Diagnostics of ship technical equipment: a reference book], Transport, Moscow, 150 p. (In Russian)

3. Shirman, A. R. and Solovyov, A. B. (1996), *Prakticheskaya vibrodiagnostika i monitoring sostoyaniya mekhanicheskogo oborudovaniya* [Practical vibration diagnostics and monitoring of the condition of mechanical equipment], Mashinostroenie, Moscow, 216 p. (In Russian)
4. Barkov, A. V. and Barkova, N. A. (2004), *Vibratsionnaya diagnostika mashin i oborudovaniya. Analiz vibratsii: uchebnoe posobie* [Vibration diagnostics of machinery and equipment. Vibration analysis: A textbook], Publishing Center of St. Petersburg State Technical University, St. Petersburg, 152 p. (In Russian)
5. Nikiforov, A. S. (1990), *Akusticheskoe proektirovanie sudovykh konstruksiy: spravochnik* [Acoustic design of ship structures: Handbook], Sudostroenie [Shipbuilding], Leningrad, 198 p. (In Russian)