

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЕМПФИРОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВИБРОГАСИТЕЛЕЙ

Гуров А.П., к.т.н., проф., Черно А.А., к.т.н.

*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев
54025, г. Николаев, пр. Героев Сталинграда, 9*

E-mail: alextchernov@yandex.ru

У статті описані експериментальні дослідження електромеханічних процесів у керованій системі віброзахисту з електромагнітним гасником коливань при керуванні його демпфіруванням. Проведені експерименти показали, що формування на обмотці віброгасника напруги спеціальної форми дає змогу керувати його демпфіруванням з точністю до 6%, а оптимальне керування демпфіруванням дає можливість удвічі скоротити час настройки віброгасника на нову частоту.

Ключові слова: електромагнітний віброгасник, керування демпфіруванням, експерименти.

In the article the experimental investigation of electromechanical processes in controllable vibroprotective system with the electromagnetic vibroabsorber while controlling its damping has been discussed. The results of the experiments shows, that the special shape voltage on the absorber winding allows to control its damping with the 6% accuracy, and the optimal damping control makes the possibility to reduce the time of absorber tuning on a new frequency in two times.

Key words: electromagnetic vibroabsorber, damping control, experiments.

Введение. Одной из актуальных проблем современной техники является создание эффективных средств защиты от вибрации. Во многих случаях пассивные методы виброзащиты, такие как виброизоляция и вибродемпфирование не обеспечивают достаточной эффективности снижения уровня колебаний, поэтому возникает необходимость в применении управляемых виброзащитных систем, среди которых особое место занимают системы управляемого динамического виброгашения с электромагнитными гасителями колебаний [2]. Такие системы отличаются малым энергопотреблением, однако по эффективности виброгашения существенно уступают активным виброзащитным системам, что значительно ограничивает область их применения. Поэтому повышение эффективности электромагнитных управляемых динамических виброгасителей (УДВГ) является актуальной задачей.

Анализ предыдущих исследований. Существенное повышение эффективности УДВГ достигается путем уменьшения демпфирования его подвеса при постоянной частоте колебаний и увеличения демпфирования во время изменения частоты [3]. Это позволяет повысить эффективность управляемых виброзащитных систем при той же массе виброгасителей, либо уменьшить габариты и массу виброгасителей при той же эффективности. В работе [1] предложено управление демпфированием электромагнитного УДВГ путем изменения напряжения на его обмотке по специальному закону. При этом демпфирование можно регулировать как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения. В работе [3] определен оптимальный закон управления демпфированием, согласно которому в начале переходного процесса демпфирование нужно увеличить до максимума, а затем по мере настройки виброгасителя на новую частоту уменьшать в зависимости от величины рассогласования. В качестве

критерия оптимизации был принят минимум интегральной квадратичной амплитуды виброскорости объекта защиты при ограничении максимальной деформации упругих элементов УДВГ.

При математическом моделировании электромеханических процессов в системе с УДВГ были приняты определенные допущения, поэтому достоверность полученных законов должна быть подтверждена путем физического моделирования на реальном объекте. Однако в работах [1, 3] отсутствует описание экспериментов, подтверждающих достоверность полученных теоретических результатов.

Цель работы – экспериментальное исследование электромеханических процессов в управляемой виброзащитной системе с электромагнитным УДВГ при управлении демпфированием виброгасителя.

Материал и результаты исследований. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– экспериментальным путем определить приращение коэффициента относительного демпфирования УДВГ при формировании на его обмотке напряжения специальной формы на фиксированной частоте настройки и сравнить полученные результаты с теоретическими;

– исследовать работу САУ частотой настройки УДВГ в режиме медленного равномерного изменения частоты вибрации при разных значениях коэффициента относительного демпфирования упругого подвеса;

– исследовать переходные процессы в системе управляемого динамического гашения вибрации в режиме ступенчатого изменения частоты возмущающего воздействия при постоянном демпфировании и при изменении демпфирования по оптимальному закону [3].

Для проверки способа компенсации сил вязкого трения, предложенного в [1], необходимо экспери-

ментальным путем определить значения коэффициента относительного демпфирования УДВГ при изменении напряжения на обмотке по законам (19) и (24) [1] и при постоянном напряжении. Для этого был собран экспериментальный стенд, схема которого приведена на рис. 1. Принцип работы стенда заключается в следующем. С генератора прибора Х1-53 на рабочую обмотку вибровозбудителя через усилитель переменного тока подается синусоидальный сигнал, частота которого линейно уменьшается. На вход прибора Х1-53 подается сигнал с акселерометра 10, установленного на подвижной части вибровозбудителя. В результате на экране прибора появляется кривая, характеризующая зависимость амплитуды ускорения подвижной части вибровозбудителя от частоты возмущающего воздействия, по которой затем определяют коэффициент относительного демпфирования УДВГ.

Исследования включают в себя 5 опытов. Целью первого опыта является определение первоначального коэффициента относительного демпфирования виброгасителя ζ_{20} . Для этого на обмотку УДВГ подается постоянное напряжение, необходимое для настройки виброгасителя на заданную частоту (в данном случае 67,5 Гц). Система управления демпфированием и система автоподстройки собственной частоты отключены.

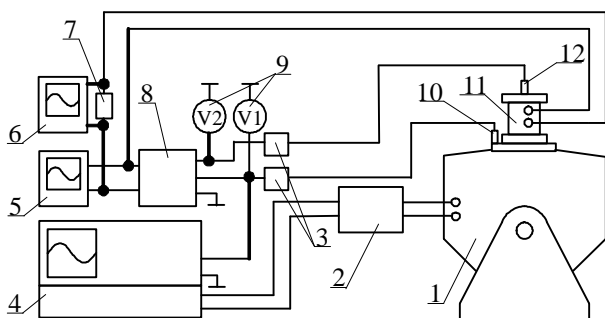


Рисунок 1 – Экспериментальный стенд:

- 1 – электродинамический вибровозбудитель;
- 2 – усилитель переменного тока; 3 – предусилители;
- 4 – прибор для исследования АЧХ Х1-53;
- 5, 6 – осциллографы; 7 – серийное сопротивление;
- 8 – САУ частотой настройки и демпфированием УДВГ; 9 – вольтметры переменного тока; 10, 12 – акселерометры;
- 11 – УДВГ

Величина ζ_{20} может быть найдена через отношение амплитуд колебаний подвижной части вибростенда и виброгасящей массы на частоте настройки, определяемое как отношение показаний вольтметров V1 и V2:

$$\zeta_{20} = \frac{1}{2} \cdot \frac{X_1}{X_2} = 0,0058.$$

Кривая, полученная с экрана прибора Х1-53, приведена на рис. 4.4. По ней видно, что уровень виброускорения подвижной части вибровозбудителя на частоте настройки УДВГ составляет 18 дБ.

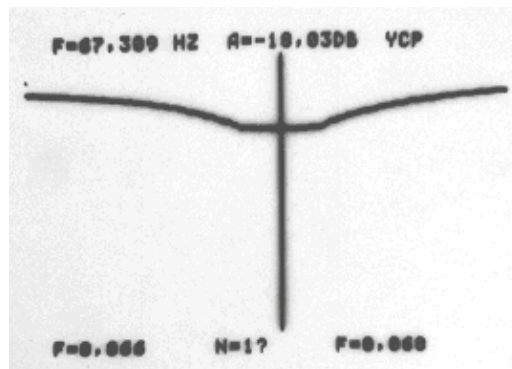


Рисунок 2 – АЧХ объекта при постоянном напряжении на обмотке УДВГ

В ходе второго опыта на обмотку УДВГ подается напряжение, изменяющееся по закону (19) [1], необходимому для снижения коэффициента относительного демпфирования на величину $\Delta\zeta = 0,0048$ на частоте 67,5 Гц. Форма подаваемого на обмотку напряжения зафиксирована осциллографом 5 (рис. 1) и представлена на рис. 3. Переменная составляющая тока, протекающего в обмотке, зафиксирована осциллографом 6 и представлена на рис. 4.

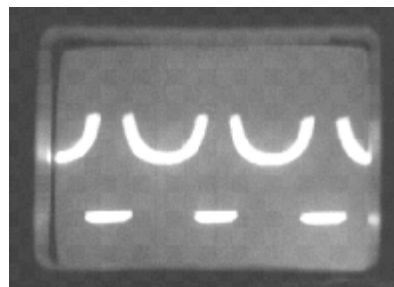


Рисунок 3 – Форма напряжения на обмотке УДВГ при уменьшении демпфирования

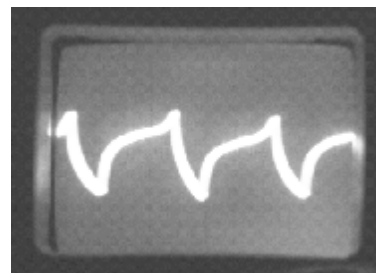


Рисунок 4 – Форма тока в обмотке УДВГ при уменьшении демпфирования

Кривая, полученная на экране прибора Х1-53, приведена на рис. 5. По ней видно, что уровень виброускорения на частоте настройки УДВГ составляет – 30,7 дБ, то есть на 12,7 дБ меньше, чем в первом опыте. Это означает, что эффективность виброгашения возросла в 4,3 раза. Ввиду того, что амплитуда колебаний виброгасящей массы при этом не изменилась (показание вольтметра V2 на частоте настройки такое же, как в первом опыте), можно считать, что коэффициент относительного демпфирования виброгасителя уменьшился в 4,3 раза:

$$\zeta_2 = \frac{\zeta_{20}}{10^{12,7/20}} = \frac{\zeta_{20}}{4,3} = 0,0013.$$

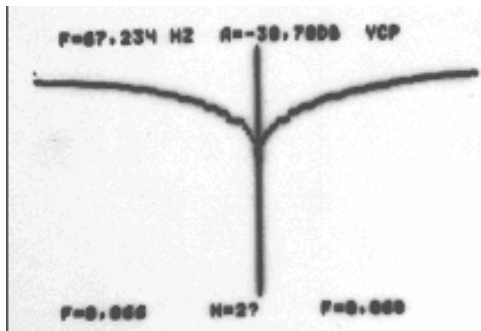


Рисунок 5 – АЧХ объекта при уменьшении демпфирования УДВГ

Тогда величина, на которую уменьшился коэффициент относительного демпфирования:

$$\Delta\zeta = \zeta_{20} - \zeta_2 = 0,0045.$$

Таким образом, значение $\Delta\zeta$, полученное экспериментальным путем, отличается от теоретического примерно на 6%.

В третьем опыте на обмотку УДВГ подается напряжение, изменяющееся по закону (24) [1], необходимому для увеличения коэффициента относительного демпфирования на 0,003 ($\Delta\zeta = -0,003$) на частоте 67,5 Гц. Формы напряжения и тока в обмотке зафиксированы осциллографами 5 и 6 и представлены на рис. 6 и 7 соответственно. По кривой, полученной с экрана прибора Х1-53 (рис. 8), видно, что уровень виброускорения составляет – 14,5 дБ, то есть на 3,5 дБ (или в 1,5 раза) больше по сравнению с первым опытом. Это означает, что эффективность виброгашения снизилась в 1,5 раза, а коэффициент относительного демпфирования в 1,5 раза увеличился:

$$\zeta_2 = 1,5 \zeta_{20} = 0,0087; \Delta\zeta = \zeta_{20} - \zeta_2 = -0,0029.$$

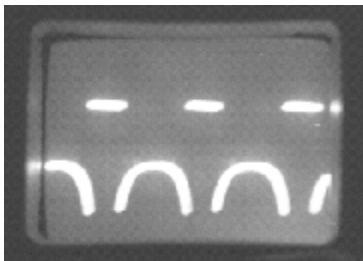


Рисунок 6 – Форма напряжения на обмотке УДВГ при увеличении демпфирования

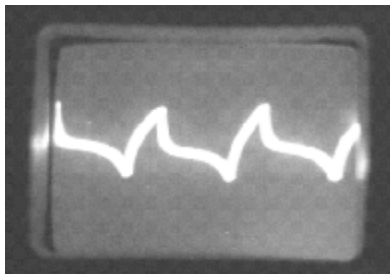


Рисунок 7 – Форма тока в обмотке УДВГ при увеличении демпфирования

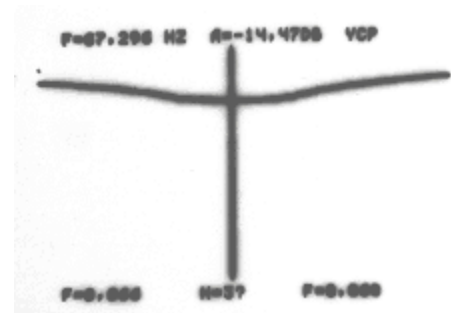


Рисунок 8 – АЧХ объекта при увеличении демпфирования УДВГ

Расхождение между теоретическим и экспериментальным значением $\Delta\zeta$ составляет 3,3%.

Описанные выше опыты показывают влияние формы тока в обмотке УДВГ на величину демпфирования его подвеса, но не отражают динамических свойств системы управления демпфированием и ее способности работать совместно с системой управления частотой настройки (последняя в данных опытах была отключена). Поэтому необходимо исследовать работу УДВГ в режиме отслеживания частоты колебаний при различных законах изменения частоты: линейном и ступенчатом.

Для исследования работы САУ УДВГ при медленном линейном изменении частоты вибрации проведем опыты, аналогичные первым двум, но при включенной системе управления частотой настройки. В результате на экране прибора Х1-53 получаем зависимость амплитуды виброускорения подвижной части вибровозбудителя от частоты возмущающего воздействия при первоначальном демпфировании $\zeta_2 = \zeta_{20}$ (рис. 9) и максимально сниженном демпфировании (рис. 10).

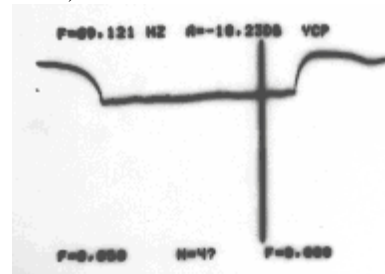


Рисунок 9 – Работа УДВГ в режиме отслеживания частоты колебаний при первоначальном демпфировании

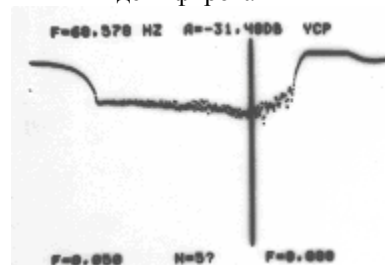


Рисунок 10 – Работа УДВГ в режиме отслеживания частоты колебаний при максимально сниженном демпфировании

Анализируя полученные кривые, можно сделать вывод, что предложенный в [1] способ позволяет зна-

чительно снижать демпфирование УДВГ и тем самым в несколько раз повышать эффективность виброгашения только на частотах, лежащих далеко от минимальной частоты настройки виброгасителя f_{20} . По мере приближения к этой частоте разница между эффективностью виброгашения (рис. 9) и (рис. 10) уменьшается, а на частоте f_{20} эффективности одинаковы. Это объясняется тем, что при уменьшении частоты колебаний вместе с постоянной составляющей тока в обмотке уменьшается и переменная, а на частоте f_{20} ток в обмотке отсутствует, следовательно никакого снижения демпфирования не происходит.

Для исследования реакции САУ УДВГ на ступенчатое изменение частоты возмущающей силы воспользуемся тем же экспериментальным стендом (рис. 1), но вместо прибора Х1-53 будем использовать генератор синусоидального напряжения регулируемой частоты и осциллограф, подключенный к выходу предусилителя датчика 10.

Эксперимент проводится следующим образом. С помощью генератора синусоидального напряжения задаем частоту колебаний вибровозбудителя, равную 68 Гц. После переходного процесса виброгаситель работает в установившемся режиме. Затем лимб генератора резко поворачиваем до отметки 70 Гц, что вызывает переходный процесс. Луч осциллографа при этом повторяет изменение виброскорости подвижной части вибровозбудителя. След луча фиксируется фотоаппаратом в режиме ручной выдержки (рис. 11). По осциллограмме видно, что время переходного процесса, соответствующее времени настройки УДВГ на новую частоту составляет примерно 5 с (цена деления 1 с).

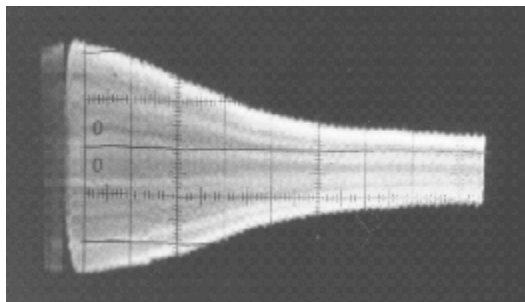


Рисунок 11 – Переходный процесс при минимальном демпфировании упругого подвеса УДВГ

Для подтверждения достоверности результатов, полученных в [3], проведем аналогичный эксперимент при управлении демпфированием УДВГ по оптимальному закону [3]. По осциллограмме (рис. 12) видно, что за счет оптимального управления демпфированием время переходного процесса уменьшилось в 2 раза.

Анализ огибающих осциллограмм (рис. 11, 12) показал, что они с точностью до 20% совпадают с соответствующими расчетными кривыми, полученными в (3).

Выводы. 1. Исследования процессов снижения и увеличения демпфирования упругого подвеса показали, что путем формирования на обмотке УДВГ напряжения специальной формы можно задавать необходимое значение коэффициента относительного демпфирования УДВГ с точностью до 6%. Это дало возможность в 4,3 раза повысить эффективность УДВГ.

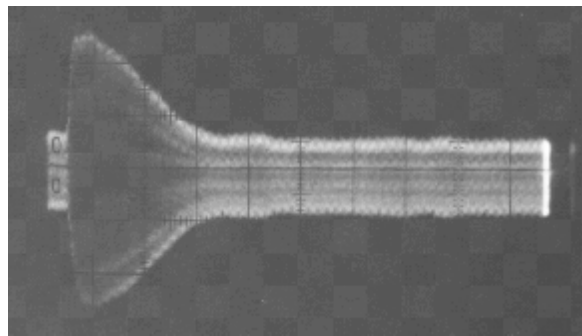


Рисунок 12 – Переходный процесс при оптимальном управлении демпфированием упругого подвеса УДВГ

2. Результаты экспериментального исследования динамики системы управляемого динамического виброгашения показали, что оптимальное управление демпфированием УДВГ позволяет в 2 раза сократить время переходного процесса. Огибающие колебательных процессов, полученных экспериментальным путем, с точностью до 20% совпадают с расчетными, что подтверждает достоверность решения задачи синтеза оптимальной САУ демпфированием УДВГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуров А.П., Черно О.О. Керування демпфуванням динамічних віброгасників з великою амплітудою коливань // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Зб. наук. праць. – Львів: НУ "Львівська політехніка", 2006. – Вип. 40. – С. 75 – 83.
2. Пассивная и активная виброзащита судовых механизмов / А.Е. Божко, А.Ф. Галь, А.П. Гуров и др. – Л.: Судостроение, 1988. – 176 с.
3. Черно А.А. Оптимальное управление демпфированием динамических виброгасителей при переходных процессах // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – Миколаїв: НУК. – 2004. – №6 (399). – С. 109 – 117.

Стаття надійшла 13.04.2008 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.