

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ЭНЕРГИИ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В МУФТЕ СО ЗМЕЕВИДНОЙ ПРУЖИНОЙ

Палочкин С.В., Любченко М.А., Карнаухов М.А.

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
г. Москва*

Ключевые слова: привод машины, муфта со змеевидной пружиной, крутильные колебания, рассеяние энергии, эксперимент, коэффициент поглощения.

Аннотация. Работа посвящена экспериментальному исследованию рассеяния энергии крутильных колебаний в муфте со змеевидной пружиной, широко используемой в приводах стационарных машин различного отраслевого назначения. Дано описание оригинального опытного стенда, методики проведения испытаний и полученных результатов в виде коэффициентов поглощения исследованной муфты. Анализ экспериментальных данных позволил установить влияние на их величину параметров колебательного процесса и характеристик муфты. Результаты работы могут быть использованы при исследованиях динамики привода, в состав которого входят рассматриваемая муфта.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE DISPERSION OF ENERGY OF TORSIONAL VIBRATIONS IN A SERPENTINE SPRING COUPLING

Palochkin S.V., Lyubchenko M.A., Karnaukhov M.A.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Keywords: machine drive, serpentine spring coupling, torsional vibrations, energy dissipation, experiment, absorption coefficient.

Abstract. The work is devoted to an experimental study of the dispersion of torsional vibration energy in a serpentine spring coupling, which is widely used in stationary machine drives for various industrial purposes. A description is given of the original experimental stand, the test procedure and the results obtained in the form of absorption coefficients of the investigated coupling. An analysis of the experimental data made it possible to establish the influence of the parameters of the oscillatory process and the characteristics of the coupling on their value. The results can be used to study the dynamics of the drive, which includes the coupling in question.

Муфты со змеевидной пружиной широко применяются в приводах стационарных машин различного отраслевого назначения при малых диапазонах регулирования скоростей и передаваемых нагрузок.

Для оценки виброустойчивости привода машины при опасных крутильных колебаниях его валов, связанных с их закручиванием из-за дисбаланса присоединённых деталей, и выработки конструктивных решений по её повышению требуется знать не только массовые и жесткостные, но и диссипативные характеристики его узлов. При этом надёжные оценки демпфирующей способности машиностроительных конструкций в большинстве случаев могут быть получены только опытным путём. В связи с этим тема работы, посвящённая экспериментальному исследованию рассеяния энергии крутильных колебаний в муфте со змеевидной пружиной, сведения о котором носят недостаточно полный характер, является актуальной.

Целью работы заключается в определении количественных характеристик демпфирования крутильных колебаний в муфте со змеевидной пружины в виде экспериментальных коэффициентов поглощения ψ .

Испытания были выполнены на базе известных методов «затухающих колебаний» и «статической петли гистерезиса», подробное описание которых можно найти, например, в [1].

Для выполнения исследований был спроектирован и изготовлен оригинальный опытный стенд, конструкция которого для снижения рассеяния энергии на колебательные процессы фундамента, а также в металлоконструкции стенда, исключая потери в опытном образце муфты, отвечает таким требованиям, как: массивность и большая жесткости основания, использование минимального числа стыков и обеспечение высоких напряжений их затяжки.

Конструктивная схема стенда представлена на рис. 1 (а – при испытаниях по методу «статической петли гистерезиса», б – при испытаниях по методу «затухающих колебаний»).

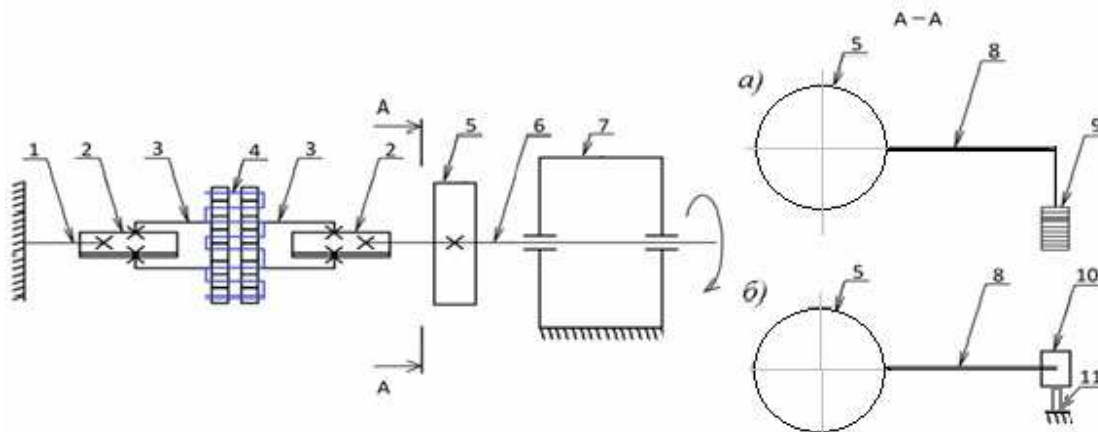


Рис. 1. Конструктивная схема стенда

Неподвижный вал 1 и вращающийся вал 6 через переходные втулки 2 соединён с зубчатыми полумуфтами 3 опытного образца муфты 4. Массивный диск 5 неподвижно соединён с валом 6, установленном на подшипниковых опорах в корпусе 7 стенда. Жесткий рычаг 8 неподвижно закреплённый на диске 5, обеспечивает возможность изменения величины нагружающего муфту вращающего момента. При построении петли гистерезиса данное изменение осуществляется ступенчато с помощью грузового устройства 9, а при испытаниях по методу «затухающих колебаний» оно достигается за счёт изменения массы груза 10, одновременно используемого для приведения колебательной системы стенда к одномассовой. Возбуждения свободных затухающих колебаний в системе стенда осуществляется способом виброудара с использованием металлического стержня 11.

При статических испытаниях значение вращающего момента определялось произведением силы тяжести подвешенных грузов на расстояние от точки их подвеса до оси подвижного вала. Значения угла закручивания полумуфт рассчитывалось как произведение измеренного часовым индикатором относительного линейного смещения указателей, закреплённых на подвижной и неподвижной полумуфтах, на расстояние от точек замера до оси муфты.

Для регистрации свободных затухающих вибраций колебательной системы стенда были использованы вибродатчик и тензостанция - анализатор спектра ZET017-T8 [2]. Сбор и обработка экспериментальных данных выполнялась с помощью ноутбука с программным обеспечением ZETLab [3].

В качестве объекта исследований была использована муфта SKF Couplings Grid типа 1020TGV (рис. 2), имеющая следующие базовые характеристики: $T_{\max} = 52 \text{ Нм}$ – номинальный (максимальный) вращающий момент муфты при длительной эксплуатации; $n_{\max} = 6500 \text{ мин}^{-1}$ – максимальная допускаемая частота вращения муфты; $z = 28$ – число зубьев каждой из полумуфт [4].



Рис. 2. муфта SKF Couplings Grid типа 1020TGV

На базе ранее созданной методики [5], которая была успешно апробирована при выполнении таких же испытаний образцов других машиностроительных узлов, была разработана методика проведения исследования, которая включает в себя следующие основные этапы.

1. Выполнение экспериментов по методу «статической петли гистерезиса» как с установкой на стенд опытного образца муфты, так и при снятии соединяющей полумуфты змеевидной пружины. В последнем случае диск 5 соединяется с основанием стенда винтовой пружиной, жесткость которой подбирается так, чтобы крутильная жесткость колебательной системы оставалась неизменной.

2. Статистическая обработка опытных петель гистерезиса с целью определения средних значений и доверительных интервалов коэффициентов поглощения стенда с опытным образцом муфты и стенда со снятой змеевидной пружиной.

3. Проведение экспериментов по методу «затухающих колебаний» как с установкой на стенд опытного образца муфты, так и при снятии змеевидной пружины.

4. Статистическая обработка опытных виброграмм свободных затухающих колебаний с целью определения средних значений и доверительных интервалов коэффициентов поглощения стенда с опытным образцом муфты и стенда со снятой змеевидной пружиной.

5. Расчёт средних значений коэффициентов поглощения для исследуемого образца муфты со змеевидной пружиной, как разницы средних значений коэффициентов поглощения стенда с установкой муфты и стенда со снятой змеевидной пружиной.

По результатам статистической обработки полученных данных испытаний среднее значение коэффициента поглощения стенда при снятии соединяющей

полумуфты змеевидной пружины составило 0,09 с доверительными интервалом $\pm 0,02$ при уровне значимости 0,05 и числе повторов испытаний 10 на каждом этапе экспериментов. Доверительные интервалы средних значений коэффициентов поглощения стэнда с установленным образцом муфты со змеевидной пружиной при различных параметрах нагружения не вышли из диапазона значений $\pm 0,05...0,07$ при том же уровне значимости и аналогичном числе повторов.

При этом средние значения всех коэффициентов, определённые по итогам проведения испытаний по методам «затухающих колебаний» и «статической петли гистерезиса» достаточно хорошо (с точностью до 8%) совпали друг с другом, что свидетельствует о корректном выполнении экспериментов.

Полученные в итоге усреднённые значения экспериментальных коэффициентов поглощения ψ в исследованной муфте со змеевидной пружиной в зависимости от номинального вращающего момента T_H представлены в табл. 1.

Табл. 1. Усреднённые значения экспериментальных коэффициентов поглощения

T_H , Нм	32	36	40
ψ	0,48	0,57	0,65

Анализ данных таблицы 1 показывает, что величина относительного рассеяния ψ увеличивается с ростом значения момента T_H , что соответствует результатам теоретического исследования, изложенным в [6].

В ходе экспериментов проверялась также зависимость величины искомых коэффициентов от амплитуды крутильных колебаний в муфте и, соответственно, амплитуды нагружающей муфту вращающего момента, а также от осевого смещения полумуфт. Однако установить существенное влияние этих параметров на относительное рассеяние энергии колебаний в рамках проведённых испытаний не удалось.

Анализ результатов выполненных экспериментов позволяет сделать следующие **выводы**.

1. Зубчатые муфты со змеевидной пружиной активно рассеивают энергию крутильных колебаний. Значения коэффициентов поглощения, полученные в условиях проведения испытаний, лежат в диапазоне от 0,48 до 0,65
2. Рассеяние энергии крутильных колебаний в муфте растёт с увеличением передаваемого номинального вращающего момента.
3. Полученные в работе коэффициенты поглощения достаточно хорошо согласуются с данными, приведёнными в [7, 8], что подтверждает достоверность полученных результатов.

Список литературы

1. Палочкин С.В. Исследование и расчёт демпфирования колебаний в контактах деталей машин. Дисс. ... канд. техн. наук. – Москва, 1983. – 198 с.
2. Анализатор спектра ZET017-T8. Тензостанция. Руководство по эксплуатации. ЗТМС.411168.004 РЭ. URL: <https://zetlab.com/shop/izmeritelnoe-oborudovanie/tezostantsii/tenzostaniya-zet-017-t8/>

3. Программное обеспечение ZETLAB. URL: <https://zetlab.com/podderzhka /programmnoe-obespechenie-podderzhka/>
4. SKF Couplings. PUB PT/P1 15822/2 EN January 2018. URL: https://www.skf.com/binary/tcm:12-317965/SKF%20Couplings%20-%2015822_2%20EN_tcm_12-317965.pdf
5. Колягин А.Ю., Палочкин С.В. Экспериментальные исследования демпфирования колебаний в крутильно-мотальном механизме // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2009. – № S2 (315). – С. 91-95.
6. Палочкин С.В., Карнаухов М.А. Демпфирование крутильных колебаний в линейной муфте со змеевидной пружиной // Технологии и качество – 2019. – № 2 (44). – С. 41-47.
7. Решетов Д.Н. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
8. Decker Karl-Heinz Maschinenelemente. Funktion, Gestaltung und Berechnung. – Carl Hanser Verlag München, 2007. – 799 s.

Сведения об авторах:

Палочкин Сергей Владимирович – д.т.н., профессор, профессор кафедры основ конструирования машин, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва;

Любченко Михаил Алексеевич – к.т.н., доцент кафедры основ конструирования машин, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва;

Карнаухов Максим Алексеевич – магистрант кафедры основ конструирования машин, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва.