

ИССЛЕДОВАНИЕ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ СТЕНДЕ ДИНАМИКИ АВТОБАЛАНСИРА-ДЕМПФЕРА

Для уравнивания быстровращающихся роторов центробежных машин, шпинделей шлифовальных станков, роторов турбогенераторов и т.д. применяются пассивные автобалансиры [1]. Корректирующие грузы (КГ) в них сами приходят в положение, в котором уравнивают ротор и дальше вращаются с ним как одно целое, пока не начнет меняться дисбаланс, скорость вращения ротора или не появятся возмущающие силы, действующие на ротор.

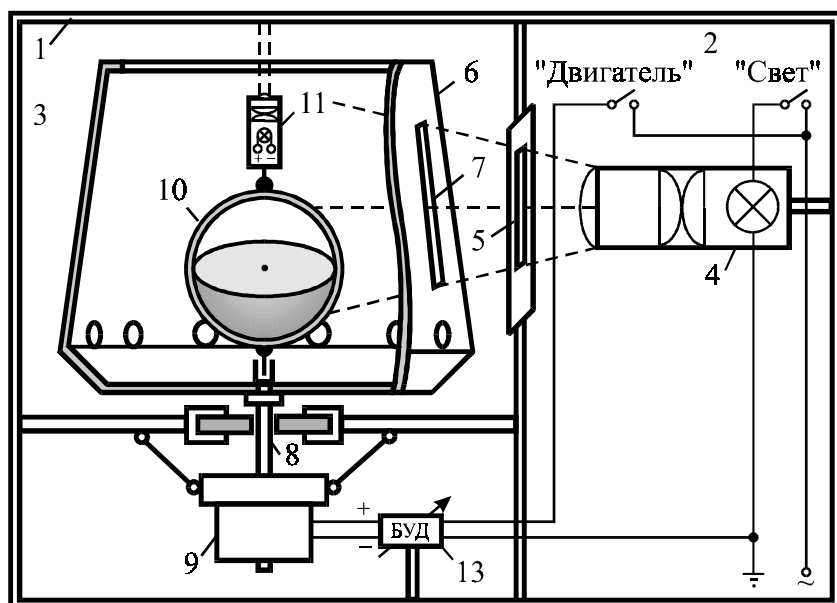
В [2] описана конструкция нового автобалансира-демпфера, предназначенного для уравнивания вертикально расположенных роторов и одновременного демпфирования их вибраций. В автобалансире КГ имеет неподвижную точку на оси ротора и сферический тензор инерции относительно нее, причем центр тяжести КГ не совпадает с неподвижной точкой. Ниже экспериментально исследуется динамика автобалансира-демпфера.

Для исследований используется универсальный стенд, описанный в работе [3]. Стенд выполнен на основе центрифуги машины стиральной полуавтоматической бытовой, типа СМП-2Д (рис. 1). В корпусе 1 машины имеются две емкости 2, 3. В емкости 2 установлен источник направленного света 4. Свет от источника проходит через узкое прямоугольное отверстие 5 в корпусе машины в емкость 3. В емкости 3 установлен ротор 6 (экстрактор центрифуги). В его корпусе так же имеется узкое прямоугольное отверстие 7. Свет через это отверстие, один раз за полный оборот ротора, попадает в середину ротора. Поэтому наблюдатель видит внутренности ротора в одном и том же положении. Центрифугу 6 крепит к валу 8 двигателя 9 автобалансира-демпфера 10 (на схеме изображен схематично), выполненный в виде планшайбы. С корпусом автобалансира (соосно вала ротора) соединен источник лазерного света 11, предназначенный для изучения движения ротора. Аналогичный источник 12 помещен внутрь КГ и предназначен для изучения его движения. Включение двигателя и света в емкости 2 осуществляется тумблерами “Двигатель” и “Свет”. Управление скоростью вращения двигателя осуществляется через блок управления двигателем (БУД) 13.

На рис. 2 приведены фотографии стенда и автобалансира. На фотографии стенда (рис. 2, а) показаны внешние устройства: тахометр цифровой ЦАТ-3М, используемый для измерения скорости вращения ротора; счетчик-секундомер; счетчик импульсов – секундомер Elwro FPM-09, используемый для определения частоты колебаний ротора. Процесс уравнивания ротора снимался видеокамерой, установившиеся режимы, в которых КГ неподвижны относительно ротора, фиксировались фотокамерой (на рисунках не показаны).

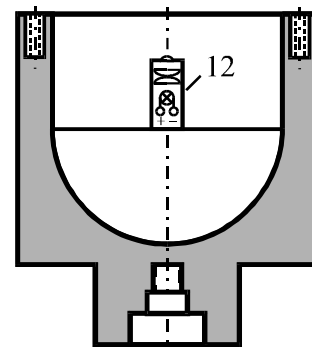
Погрешность определения положения КГ относительно ротора

$$\eta\% < \frac{\delta_{\max}}{P_{\min}} \cdot 100\% = \frac{5}{750} \cdot 100\% = 0,67\%$$



а

Рисунок 1 – Схемы стенда и автобалансира



б



а

Рисунок 2 – Фотографии стенда и автобалансира



б

где $\delta_{\max}=5$ мм – наибольшая ширина щели в корпусе машины или на роторе; $P_{\min}=750$ мм – минимальный периметр корпуса центрифуги, измеренный на уровне щели. Эта оценка не зависит от скорости вращения ротора.

Параметры системы следующие:

$$M = 8,45 \text{ кг}, \quad m = 0,82 \text{ кг}, \quad \omega_0 = 2,87 \text{ об/с}, \quad \delta = 1250 \text{ кг} \cdot \text{см},$$

где M – суммарная масса вращающихся частей двигателя, центрифуги и автобалансира, m – масса КГ, ω_0 – частота собственных колебаний центрифуги при отсутствии вращения, δ – балансирующая емкость автобалансира.

Исследования проводились в несколько этапов.

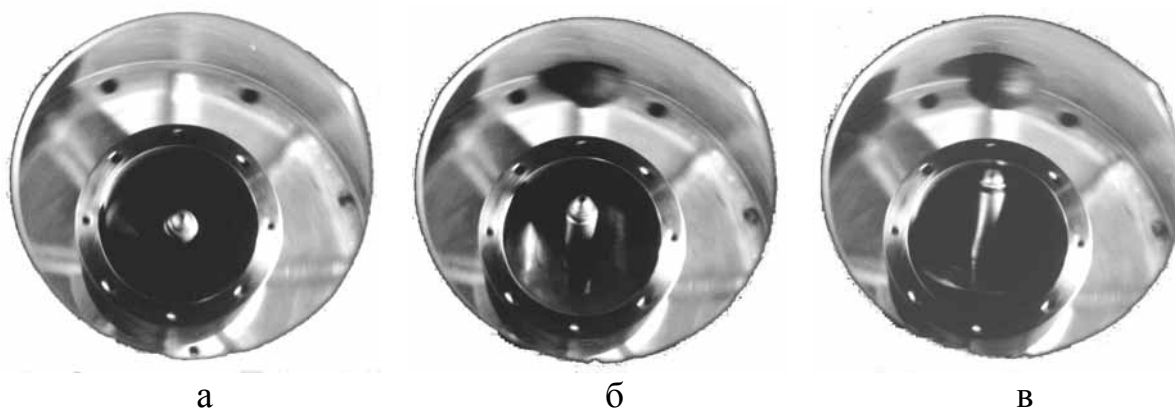
На первом этапе, при отсутствующем в автобалансире КГ, центрировался лазерный луч, связанный с корпусом автобалансира и уравнивался ротор [3]. При статическом центрировании лазерный луч указывает в одну точку, вне зависимости от угла поворота центрифуги. При динамическом центрировании луча (уравнивании ротора) луч указывает практически в одну точку на всем диапазоне скоростей вращения ротора. Лазерный луч, связанный с КГ, был отцентрирован при его установке в КГ. Этот луч показывает вертикально вверх при помещении КГ в корпус автобалансира.

На втором этапе исследовалась точность изготовления автобалансира. Для этого КГ был установлен в середину автобалансира. Ротор был разогнан до наибольшей скорости и выждалось наступление балансировки. Затем питание двигателя было отключено и на всем диапазоне скоростей вращения ротора, при котором сохранялась балансировка, наблюдалось положение точки от лазерного луча и положения корректирующего груза. Установлено качественное изготовление автобалансира, так как КГ на резонансных скоростях вращения ротора занимал нейтральное положение (положение, в котором он не вносил дисбаланс в систему), а лазерный луч, связанный с корпусом автобалансира практически указывал в одну точку.

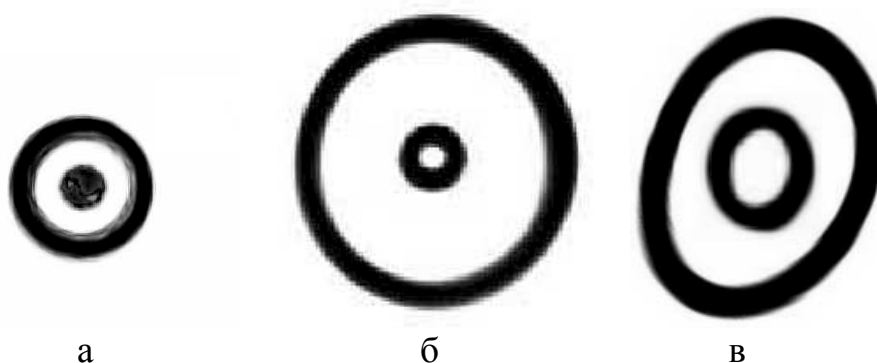
На третьем этапе исследовались параметры работы автобалансира при разгоне, крейсерском режиме и выбеге ротора.

При небольшом вязком трении между КГ и корпусом автобалансира (наличие смазки) КГ быстро вовлекается во вращение вместе с ротором и балансировка наступает за минимальный промежуток времени 2-4 с, даже во время разгона ротора (рис. 3). Однако чувствительность КГ к изменению дисбаланса тем меньше, чем больше вязкость смазки. В момент пуска ротора его колебания вместе с КГ более значительны, чем без них. При выбеге ротора КГ остаются в положении, в котором уравнивают ротор тем дольше, чем больше вязкость смазки, но до скоростей, не превышающих резонансную частоту.

Режим автобалансировки устойчив к внешним возмущениям. На больших скоростях вращения ротора на положения КГ мало влияют внешние силовые воздействия на ротор или торможение ротора.



а – дисбаланса нет; б – средний дисбаланс; в – большой дисбаланс
 Рисунок 3 – Уравновешивание автобалансиrom различных дисбалансов



а – малый дисбаланс; б – большой дисбаланс и большая скорость вращения ротора; в – большой дисбаланс и малая скорость вращения ротора
 Рисунок 4 – Следы лазерного луча до и после уравновешивания ротора

На рисунке 4 показаны следы на потолке луча лазера, связанного с корпусом автобалансира. Внешняя окружность описывается лучом при отсутствии КГ в автобалансире, а внутренняя точка или окружность – при наличии КГ в автобалансире. Эксперименты показали, что величина остаточного дисбаланса линейно зависит от величины уравновешиваемого дисбаланса – чем больше уравновешиваемый дисбаланс, тем больше остаточный дисбаланс. При уравновешивании малых дисбалансов остаточный дисбаланс практически отсутствует, поэтому лазерный луч, связанный с корпусом автобалансира указывает в свое статическое положение (рисунок 4, а). При уравновешивании наибольших дисбалансов, которые может уравновесить автобалансиr, величина остаточного дисбаланса наибольшая. Поэтому луч лазера описывает на потолке окружность, однако, ее диаметр в 6-8 раз меньше, чем диаметр этой окружности при отсутствии КГ в автобалансире (рисунок 4, б). Объясняется это возрастанием давления КГ на корпус автобалансира при возрастании дисбаланса. При этом возрастает трение между КГ и корпусом, что снижает точность балансировки. Точность балансировки автобалансира-демпфера не уступает точности шарового

автобалансира (с закаленной беговой дорожкой для шаров) [1, 3], а при малых дисбалансах – превосходит ее.

При медленном разгоне или выбеге ротора наблюдаются две критические скорости, первая из которых ниже, а вторая выше резонансной частоты вращения ротора. На скоростях ниже первой критической КГ отклонен в тяжелую сторону ротора. Между первой и второй критическими скоростями КГ начинает отставать от ротора, в связи с чем, вращается относительно него в сторону, противоположную вращению ротора. На скоростях, выше второй критической скорости наступает явление автобалансировки. Существование двух критических скоростей поясняется тем, что в окрестности резонансной скорости у автобалансира не существуют побочные движения, а основные – еще не устойчивы [4]. Так из-за наличия внешнего трения (в подвеске ротора), в окрестности резонансной скорости, вектор отклонения вала наиболее не совпадает с направлением вектора дисбаланса. Поэтому КГ отклоняется не в тяжелую или легкую сторону ротора, дезориентирован и совершает круговые движения внутри ротора. Чем меньше вязкость смазки, тем быстрее КГ вращается относительно ротора. При малых дисбалансах критические скорости практически сливаются с резонансной частотой, а при увеличении дисбалансов отдаляются от нее.

Следует отметить, что режим разгона и выбега ротора с автобалансиром-демпфером значительно спокойнее этих режимов для ротора с шаровым автобалансиром [1, 3]. Объясняется это тем, что КГ в момент пуска ротора занимает нейтральное положение и не вносит дополнительный дисбаланс в систему. При выбеге ротора, под действием сил тяжести, КГ так же стремится к нейтральному положению, что делает процесс выбега спокойным. Однако силы тяжести ухудшают качество балансировки ротора автобалансиром на малых зарезонансных скоростях вращения ротора. На рисунке 4, б показаны следы лазерного луча при большом дисбалансе и большой скорости вращения ротора (50 об/с), а на рисунке 4, а эти же следы при малой зарезонансной скорости вращения ротора (6 об/с). Видно падение качества балансировки более чем в два раза. Однако на малых скоростях вращения ротора вибрации от дисбаланса незначительны.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- автобалансиру-демпферу уравнивает ротор на скоростях, несколько превышающих резонансную частоту вращения ротора;
- режим автобалансировки устойчив по отношению к возмущениям, таким как изменение скорости вращения ротора, силовые воздействия на ротор, изменение дисбаланса;
- величина остаточного дисбаланса наибольшая в окрестности резонансной скорости вращения ротора и уменьшается с увеличением скорости вращения ротора;
- малые дисбалансы уравниваются качественнее, чем большие, причем величина остаточного дисбаланса линейно зависит от величины уравниваемого дисбаланса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусаров А.А., Сусанин В.И., Шаталов Л.Н., Грушин Б.М. Автоматическая балансировка роторов машин. -М.: Наука, 1979. -151 с.
2. Філімоніхін Г.Б., Сотніков В.С. Автобалансири-демпфери із сферичним рухом корегуючих мас // Збірник наукових праць КДТУ. -2000. Вип. 6, С. 73-75.
3. Филимонихин Г.Б. Универсальный стенд для исследования динамики пассивных автобалансиров и его апробация шаровым автобалансиром // Збірник наукових праць КДТУ, -2001. Вип. №9, -С.101-107.
4. Филимонихин Г.Б., Сотников В.С. Установившиеся движения ротора, совершающего плоскопараллельные движения, и автобалансира-демпфера // Збірник наукових праць КДТУ. -2000. Вип. 7, С. 192-199.