

ИССЛЕДОВАНИЕ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ СТЕНДЕ ДИНАМИКИ АВТОБАЛАНСИРА С ДВУМЯ СВЯЗАННЫМИ КОРРЕКТИРУЮЩИМИ ГРУЗАМИ

В [1] описана конструкция нового автобалансира, предназначенного для уравнивания вертикально расположенных роторов. В автобалансире два корректирующих груза (КГ) имеют неподвижные точки на оси ротора, могут поворачиваться вместе вокруг продольной оси ротора и на равные углы в противоположные стороны вокруг поперечных осей ротора. КГ в устройстве нечувствительны к силам тяжести. В настоящей работе экспериментально исследуется динамика такого автобалансира.

Исследования проводятся на универсальном стенде, выполненном на основе стиральной полуавтоматической бытовой машины, типа СМП-2Д. Схемы стенда и автобалансира показаны на рисунке 1. Описание стенда приведено в работе [2].

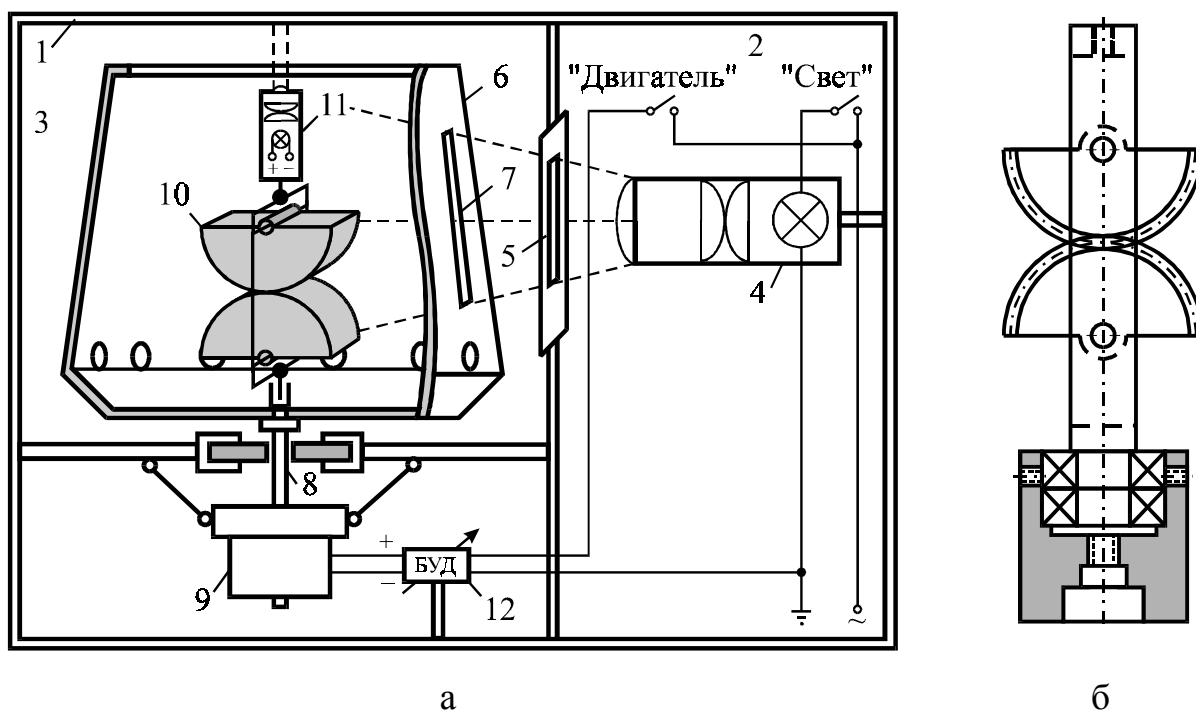


Рисунок 1 – Схемы стенда и автобалансира

Параметры системы следующие:

$$M = 6,24 \text{ кг}, \quad m = 0,15 \text{ кг}, \quad \omega_0 = 3,33 \text{ об/с}, \quad \delta = 440 \text{ кг} \cdot \text{см},$$

где M – суммарная масса вращающихся частей двигателя, центрифуги и автобалансира, m – масса одного КГ, ω_0 – резонансная частота, δ – балансирующая емкость автобалансира.

Исследования проводились в несколько этапов.

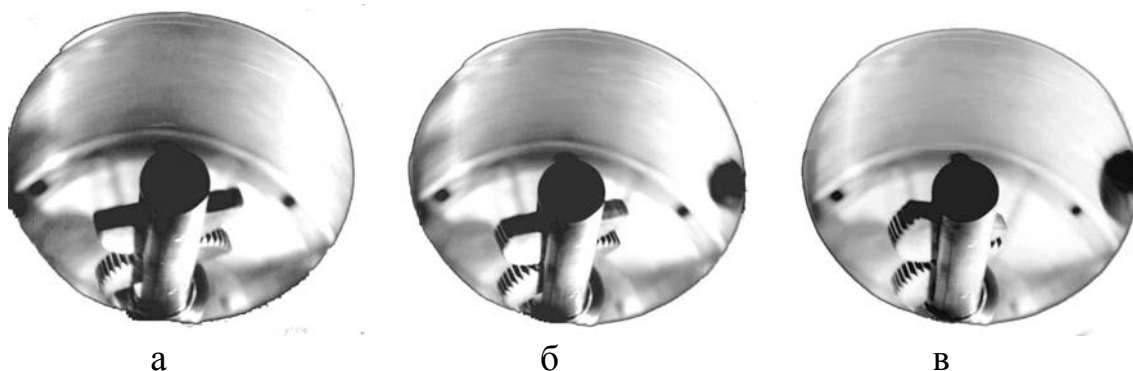
На первом этапе, при отсутствующих в автобалансире 10 КГ, центрировался луч лазера 11 и уравнивался ротор 6 [2]. При статическом центрировании лазерный луч указывает в одну точку, вне зависимости от угла поворота ротора.

При динамическом центрировании луча (уравновешивании ротора) луч указывает практически в одну точку на всем диапазоне скоростей вращения ротора.

На втором этапе исследовалась точность изготовления автобалансира. Для этого КГ были помещены в середину автобалансира. Установлено качественное изготовление автобалансира, так как КГ на резонансных скоростях вращения ротора занимали нейтральное положение (положение, в котором они не вносят дисбаланс в систему), а лазерный луч практически указывал в одну точку.

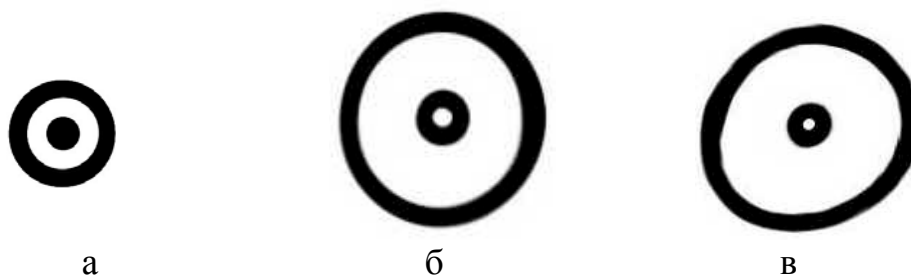
На третьем этапе исследовались параметры работы автобалансира при разгоне, крейсерском режиме и выбеге ротора. Результаты исследований следующие.

При наличии сил вязкого трения (подшипники смазаны слоем смазки) КГ быстро вовлекаются во вращение вместе с ротором и балансировка наступает за минимальный промежуток времени 2-4 секунды, даже во время разгона ротора (рисунок 2). 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 вплоть до резонансной скорости вращения ротора, а часто и до меньших скоростей и даже до полной остановки ротора. Причем чем больше вязкость смазки, тем дольше КГ остаются в положении, в котором уравнивают ротор. Объясняется это вязкостью смазки, а не возможностью балансировки ротора на дорезонансных скоростях.



а – дисбаланса нет; б – средний дисбаланс; в – большой дисбаланс

Рисунок 2 – Уравнивание автобалансиром различных дисбалансов



а – малый дисбаланс; б – большой дисбаланс и большая скорость вращения ротора; в – большой дисбаланс и малая скорость вращения ротора

Рисунок 3 – Следы лазерного луча до и после уравнивания ротора

На рисунке 3 показаны следы на потолке луча лазера. 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 уравниваемого дисбаланса – чем больше уравниваемый дисбаланс, тем больше остаточный дисбаланс. При уравнивании малых дисбалансов остаточный дисбаланс практически отсутствует, поэтому лазерный луч указывает в свое статическое положение (рисунок 3, а). При уравнивании наибольших дисбалансов, которые может уравновесить автобаланси́р, величина остаточного дисбаланса наибольшая. Поэтому луч лазера описывает на потолке окружность, однако, ее диаметр в 7-8 раз меньше, чем диаметр этой окружности при отсутствии КГ в автобаланси́ре (рисунок 3, б). Объясняется это возрастанием давления КГ на ось автобаланси́ра при возрастании дисбаланса. При этом возрастает трение между КГ и осью, что снижает точность балансировки. Точность балансировки нового автобаланси́ра больше точности шарового автобаланси́ра, особенно при уравнивании малых дисбалансов.

При очищении подшипников от смазки поведение автобаланси́ра принципиально меняется. Наблюдаются два различных режима движения.

В первом режиме наступает автобалансировка ротора. Время переходных процессов от 3 до 12 секунд. Наблюдаются два принципиально различных режима разгона КГ. В первом режиме разгона КГ максимально отклонены и при вращении отстают от ротора. Во время разгона их видимое изображение удваивается, утраивается, учетверяется и т.д. – по мере отставания от ротора, а потом в обратном порядке – по мере того, как КГ догоняют ротор. Когда КГ догоняют ротор, то происходит их перемещение в нейтральное положение, а затем они находят плоскость дисбаланса и отклоняются в этой плоскости на угол, необходимый для устранения дисбаланса. Наблюдаются колебания КГ со скоростями, близкими к резонансной частоте, около положений, в которых они уравнивают ротор. Эти колебания через 1-3 секунды затухают. Луч лазера, пока КГ наиболее отклонены, описывает фигуры, похожие на гипоциклоиды. При этом количество лепестков гипоциклоиды сначала возрастает, а потом уменьшается. При колебании КГ вокруг положений, в которых они уравнивают ротор, луч лазера описывает окружность, которая меняет свой диаметр. В результате нескольких колебаний с окolorезонансной частотой, окружность вырождается в точку. Во втором режиме разгона КГ находятся в нейтральном положении (не отклонены). Их видимое изображение удваивается, утраивается и т.д., а потом в обратном порядке. Когда КГ догоняют ротор, то они находят плоскость дисбаланса и отклоняются в этой плоскости на угол, необходимый для устранения дисбаланса. Наблюдаются колебания КГ со скоростями, близкими к резонансной частоте, около положений, в которых они уравнивают ротор. Эти колебания через 1-3 секунды затухают. Иногда лазер во время разгона КГ указывает в точку своего статического положения, и только во время колебаний КГ вокруг положений, в которых они уравнивают ротор, появляется пульсирующая окружность, но ее диаметр значительно меньший, чем в предыдущем описанном режиме разгона. Второй режим разгона КГ значительно спокойней первого. Режим автобалансировки устойчив к

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

Во втором режиме КГ наиболее отклонены и во вращении отстают от ротора. Их абсолютная угловая скорость вращения вокруг продольной оси ротора равна резонансной скорости вращения ротора. Поэтому ротор совершает «медленные» прецессионные колебания с этой частотой. Лазерный луч описывает гипоциклоиды, которые являются суммой прямой прецессии и прямой нутации (рисунок 4). Частота «быстрых» нутационных колебаний равна скорости вращения ротора. Когда частота нутационных колебаний в целое число - k раз больше резонансной частоты, то гипоциклоида на потолке неподвижна и имеет $(k-1)$ лепестков, т.е. один лепесток пропадает (при прямой прецессии и обратной нутации – наоборот, один лепесток добавляется). При некратном соотношении частот гипоциклоида вращается в каком либо направлении.

Описанный режим устойчив к внешним воздействиям на ротор и к изменению скорости вращения ротора. При выбеге ротора кратность изображений КГ уменьшается, вплоть до удвоения. При дальнейшем уменьшении скорости вращения ротора видно истинное движение КГ относительно ротора – они наиболее отклонены и вращаясь, отстают от ротора. При падении скорости вращения ротора до резонансной частоты, наблюдается картина, аналогичная первому режиму.

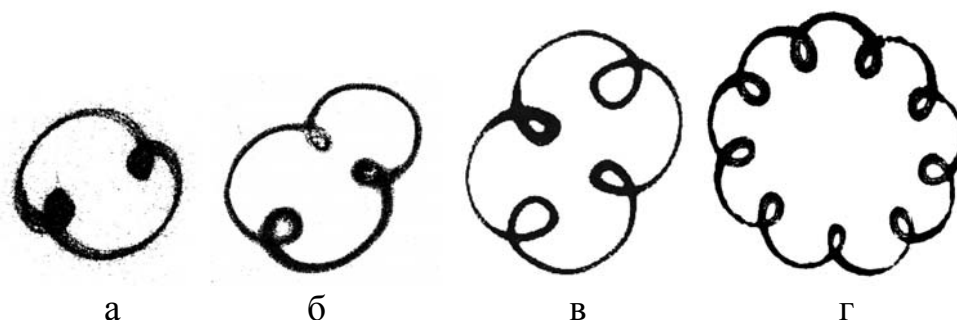
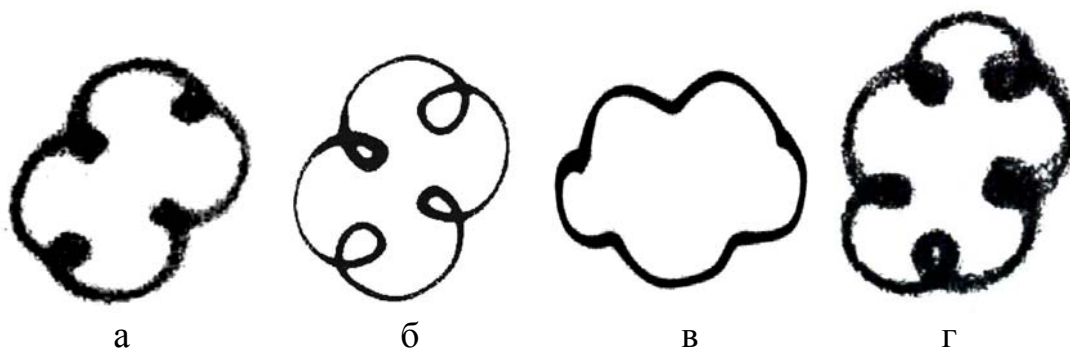


Рисунок 4 – Следы лазерного луча – гипоциклоиды, зависимость от скорости вращения ротора



а – нормальная гипоциклоида – дисбаланс средний; б, г – удлиненные гипоциклоиды – дисбаланс большой; в - укороченная гипоциклоида – дисбаланса мал
Рисунок 5 – Следы лазерного луча – укороченные, нормальные и удлиненные гипоциклоиды, зависимость от дисбаланса

При малых дисбалансах лазерный луч описывает нормальные и даже укороченные гипоциклоиды (рисунок 5, а, в). При возрастании дисбаланса гипоциклоиды становятся удлиненными (рисунок 5, б, г). При дисбалансах, больших предельной величины, которую может уравновесить автобаланси́р, второй режим движения ротора не наблюдается. Происходит беспокойный разгон ротора, а затем КГ максимально отклоняются в легкую сторону ротора, чем уменьшают дисбаланс и частично уравновешивают ротор.

Второй режим, так же не наблюдается, если в момент пуска КГ занимают нейтральное положение или незначительно отклонены от него. В связи с этим нижний КГ был сделан более легким, чем верхний. При этом, под действием сил тяжести КГ начали приходить в нейтральное положение. Это обеспечило спокойный разгон ротора и устранило второй - побочный режим движения.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- автобаланси́р уравновешивает ротор на зарезонансных скоростях вращения ротора;
- остаточный дисбаланс линейно зависит от величины уравновешиваемого дисбаланса и не зависит от скорости вращения ротора;
- увеличение вязкости смазки ускоряет наступление балансировки, но ухудшает ее качество, а с уменьшением вязкости – появляется побочный нестационарный режим движения системы;
- при выполнении нижнего КГ меньшей массой, процесс разгона ротора более спокойный, а побочный нестационарный режим движения не наблюдается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Філімоніхін Г.Б., Невдаха Ю.А. Зменшення чутливості автобаланси́рів до сил ваги шляхом накладання в'язей // Збірник наукових праць КДТУ, -2000. Вип. №6, -С.76-77.
2. Филимонихин Г.Б. Универсальный стенд для исследования динамики пассивных автобаланси́ров и его апробация шаровым автобаланси́ром // Збірник наукових праць КДТУ, -2001. Вип. №9, -С.101-107.
3. Гусаров А.А., Сусанин В.И., Шаталов Л.Н., Грушин Б.М. Автоматическая балансировка роторов машин. -М.: Наука, 1979. -151 с.