



Самовозбуждение несинхронного вращения близко расположенных неуравновешенных роторов

В. Н. Самохвалов

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры
производства летательных аппаратов и управления качеством
в машиностроении;
Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С. П. Королёва, г. Самара;
samokhvalov.vn@ssau.ru

Рассмотрены и проанализированы результаты экспериментальных исследований процесса самовозбуждения вращения при близком соосном расположении тонкостенных дисков, а также соосно с ними расположенных жёстко и подвижно установленных экранов. Самовозбуждение вращения наблюдалось только при вращении одного динамически несбалансированного ротора (диска) с частотой более 50...150 Гц и возбуждении круговой вибрации первоначально не вращающегося второго ротора (диска или экрана), расположенного соосно на расстоянии 1...4 мм от него на общем жёстком основании. Самовозбуждение вращения ротора, установленного на не подключенном к сети электродвигателе, было несинхронным с частотой вращения динамически несбалансированного ротора, вращаемого электродвигателем. При весе ротора (диска) 0,5 Н и первоначальном расстоянии от экрана 3...3,5 мм сила, вызывающая отталкивание подвижного экрана от ротора, составляла около 2,5...2,7 Н, а вращающий момент порядка 0,01 Н·м. При расстоянии между поверхностями соосно расположенных динамически несбалансированного вращающегося ротора и первоначально неподвижного диска или экрана более 5...6 мм процесс отталкивания и самовозбуждения вращения экрана или ротора не наблюдался. Вращение хорошо сбалансированного ротора при отсутствии круговой вибрации второго ротора или экрана даже при расстоянии между ними 1...1,5 мм при прочих равных условиях также не приводило к их силовому взаимодействию и самовозбуждению вращения.

Ключевые слова: дисбаланс; циркулярная вибрация; самовозбуждение вращения; отталкивание роторов

Цитирование: Самохвалов, В. Н. Самовозбуждение несинхронного вращения близко расположенных неуравновешенных роторов / В. Н. Самохвалов // Динамика и виброакустика. – 2024. – Т. 10, №3. – С. 19-28. DOI: 10.18287/2409-4579-2024-10-3-19-28

Введение

Эффект синхронизации вращающихся тел [1] проявляется в согласовании вращения нескольких неуравновешенных роторов с равной или кратной частотой при отсутствии между ними механических или электрических связей даже при отключении питания одного из них. Эффект самосинхронизации механических дебалансных вибровозбудителей был экспериментально установлен в ленинградском институте «Механобр» в 1948 году [2]. При установке на общем неподвижном основании роторы двух независимых асинхронных электродвигателей привода вибровозбудителей вращались несинхронно вследствие погрешностей при изготовлении. Но, будучи установленными на общем подвижном основании, они входили в режим

синхронного вращения. При этом синхронное вращение сохранялось и при отключении одного из электромоторов от сети до отключения от сети второго электропривода. Наблюдалось вибрационное поддержание вращения несбалансированного ротора как проявление эффекта самосинхронизации [3]. К настоящему времени это явление достаточно исследовано и описано в большом числе работ, и на этой основе создан отдельный вид вибрационных машин и устройств [4–6].

Но в случае несбалансированных роторов выполнение условий существования и устойчивости вибрационной поддержки их вращения, как правило, ещё не гарантирует установления стабильного вращения при произвольных начальных условиях. В случае запуска на некоторое время их приводов или направленного «толчка» ротора один или несколько электромоторов могут быть отключены и несмотря на это не выходят из синхронного вращения. При некоторых сочетаниях параметров возбудитель с выключенным электромотором будет продолжать работать синхронно с другим, подключенным к сети, в других случаях – останавливается [3].

При этом экспериментально установлено, что в случае вибровозбудителей вибрационное поддержание вращения дебалансных роторов, как правило, не является самовозбуждающимся. Если включены двигатели отдельных несбалансированных роторов установки, то другие, ранее не включенные, дебалансные роторы обычно не начинают самовозбуждённого вращения [3].

Ранее экспериментально установлен эффект самовозбуждения несинхронного вращения ведомого диска при вращении близко расположенного динамически несбалансированного соосного ему ведущего диска, обязательным условием которого является возбуждение циркулярной вибрации ведомого диска или экрана [7, 8].

Научный вопрос, рассматриваемый в статье, – анализ условий самовозбуждения несинхронного вращения и отталкивания близко расположенных соосных роторов, определение величины силового взаимодействия, проявляющегося при высокоскоростном вращении несбалансированных роторов (тонких дисков), при возникновении циркулярной вибрации механической системы и первоначально не вращающихся дисков и экранов.

1 Экспериментальное оборудование и оснастка

Роторами в экспериментальном оборудовании были тонкие плоские диски. Материалы дисков: сплав АМг3, толщина листа 0,9 мм; картон 1 мм и 2,5 мм; бумага 0,25 мм. Экспериментальное устройство при соосном расположении электродвигателей вращения дисков позволяло изменять расстояние между ними за счёт подъёма или опускания верхней плиты устройства по направляющим колонкам. После чего производилась её жёсткая фиксация винтами (фото оснастки показано на рисунке 1). Расстояние между поверхностями дисков (диска и экрана) измерялось в их центральной части по оси роторов электромоторов. Минимальный зазор между дисками задавался с учётом исключения возникновения механического контакта кромок дисков в начальный момент вращения при заданной величине дисбаланса одного или обоих дисков.

Несбалансированность роторов задавалась путём смещения оси диска относительно оси электромотора параллельно ей на 0,2...0,3 мм и небольшим отклонением оси диска (на 2..4 градуса) от оси ротора электромотора. В процессе последующего высокоскоростного вращения (100...200 1/с) это вместе с упругим изгибом оси ротора электродвигателя создавало коническое вращение диска (осевое колебание торца диска 1,5...2 мм) и вибрацию всего устройства. Установленные в устройстве электромоторы Д-14ФТ1с имеют встроенный нормально включенный электромагнитный тормоз. Это давало возможность в процессе эксперимента тормо-

зить или освобождать ротор электродвигателя независимо от включения или отключения его обмоток вращения. Для питания рабочих обмоток и электромагнитных тормозов использовались отдельные источники постоянного тока В5-48.

Циркулярная вибрация элементов оснастки, которая возникала при высоких угловых скоростях вращения динамически несбалансированного ротора, передавалась здесь на второй диск (или экран) через жёстко связанные между собой металлические детали экспериментальной оснастки.

В связи с малой толщиной (жёсткостью) и малой массой дисков (около 50 г), для минимизации воздействия воздушной среды на исследуемый процесс (исключения аэродинамических эффектов) при частотах вращения дисков 150...200 1/с (при линейной скорости на кромке диска до 100 м/с), устройство размещалось внутри вакуумной камеры с внутренним диаметром 300 мм. Остаточное давление в камере было не более 0,05 Торр. Устройство жёстко прикреплялось к стенкам внутри толстостенной (15 мм) стальной, заземлённой вакуумной камеры весом 50 кг.

В торце камеры выполнено окно из оргстекла толщиной 40 мм для наблюдения, для видео- и фотофиксации процесса, бесконтактного измерения частоты вращения роторов (дисков). Использовался лазерный цифровой тахометр марки Mastech MS6208B. Некоторая размытость приведённых ниже фотоснимков обусловлена выполнением фотосъёмки через толстое оргстекло окна вакуумной камеры и бликами на нём при фотовспышках.

Камера была оснащена герметичными разъёмами для проводов источников питания электродвигателей вращения роторов (дисков), ламп подсветки, а также тензостанции, применявшейся для измерения силовых параметров процесса: силы отталкивания и величины крутящего момента при самовозбуждении несинхронного вращения.

2 Самовозбуждение прецессии оси и вращения диска, повешенного на нитях

Верхний ведомый диск экспериментального устройства прикреплялся на нитях к фланцу ротора верхнего электродвигателя. Нижний ведущий диск (с заданным дисбалансом) жёстко прикреплялся к фланцу ротора нижнего электродвигателя. Общий вид центральной части экспериментального устройства и отдельные моменты бесконтактного взаимодействия дисков показаны на рисунке 1.

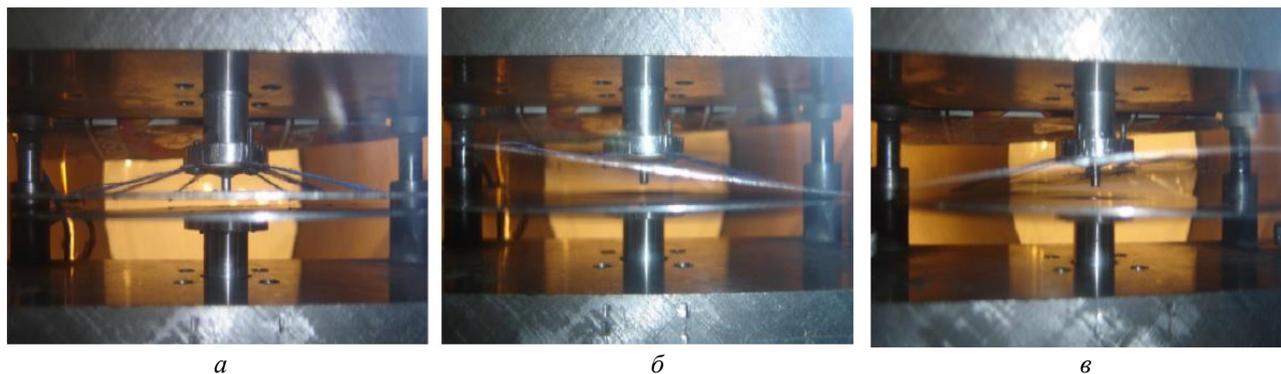


Рисунок 1 – Общий вид устройства в камере и прецессионное движение оси верхнего диска:
 а – вид дисков до начала вращения нижнего диска; б и в – в процессе вращения нижнего диска

Первоначально были установлены диски из сплава АМг3. Ротор верхнего электродвигателя был заторможен. Первоначальное расстояние между дисками (по оси роторов электродвигателей) задавалось в диапазоне 2...3 мм.

Включение нижнего электродвигателя и раскрутка нижнего диска до частоты вращения 100...120 1/с приводила к сильному прецессионному движению оси невращающегося верхнего

диска – по направлению вращения нижнего диска (рисунок 1, б и 1, в). Но механического взаимодействия между дисками не происходило, т.к. верхний диск отходил вверх до контакта с фланцем крепления его нитей подвески (рисунок 1, б и 1, в).

При освобождении ротора верхнего электродвигателя (без подачи напряжения на обмотки вращения) через 1...3 с возникало самовозбуждение вращения подвешенного на нитях диска с частотой, не синхронной частоте вращения нижнего диска, вращаемого электродвигателем. С ростом числа оборотов самовозбуждённого вращения подвешенного на нитях диска одновременно возрастала скорость вращения жёстко установленного нижнего диска, вращаемого его электродвигателем, без изменения напряжения на входе. Частота самовозбуждённого вращения верхнего диска в этом случае составляла, например, 20...30 1/с при частоте вращения приводного несбалансированного диска 100...120 1/с. Сильное самовозбуждённое прецессионное движение оси невращающегося диска при его подвеске на нитях тормозило несбалансированный нижний диск, вращаемый электродвигателем при неизменности напряжения на его рабочих обмотках.

С ростом частоты вращения самовозбуждённого вращения диска, подвешенного на нитях, интенсивность прецессионного вращения его оси снижалась до минимальной величины, и он вплотную прижимался к своему фланцу. Это, очевидно, обусловлено действием на него внешнего крутящего момента (диск вращает ротор своего не подключенного к сети электродвигателя), а также, возможно, силы отталкивания от нижнего диска. При включении тормоза верхнего электродвигателя и остановке его вращения параметры прецессионного движения оси верхнего диска – угол и частота – мгновенно возрастали.

Явление самовозбуждения несинхронного вращения подвешенного на нитях диска проявлялось и во второй части опытов: при подвеске на нитях диска, выполненного из картона (нижний диск из АМгЗ), а также когда нижний диск был из бумаги (верхний из картона) – рисунок 2. Размытость и полупрозрачность изображения дисков на фотографиях (рисунок 2, б) обусловлена их высокоскоростным вращением (150...180 1/с) – когда за время съёмки кадра диск совершал несколько оборотов.

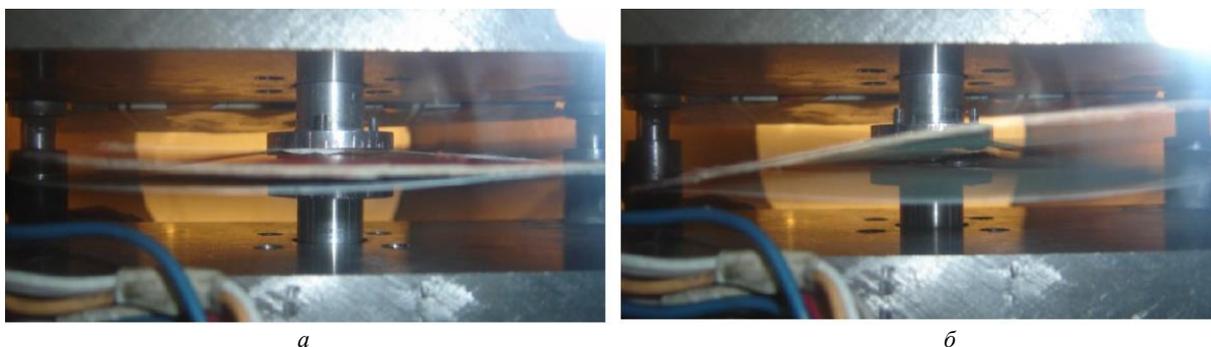


Рисунок 2 – Самовозбуждение прецессии оси диска из картона и вибрация вращающегося бумажного диска:
a – начало процесса; *б* – прецессионное движение оси картонного диска и вибрация бумажного диска

Экспериментально полученные результаты позволяют сделать вывод, что явление самовозбуждения прецессии оси и самовозбуждение несинхронного вращения подвешенного на нитях диска не зависят от электропроводности (проводник или диэлектрик) или магнитных свойств (алюминий – парамагнетик) материала дисков, т.е. они не обусловлены эффектами электромагнитной природы.

3 Самовозбуждение прецессии оси и вращения диска, установленного на сильфоне

Конструктивная схема экспериментального устройства показана на рисунке 3, *a*.

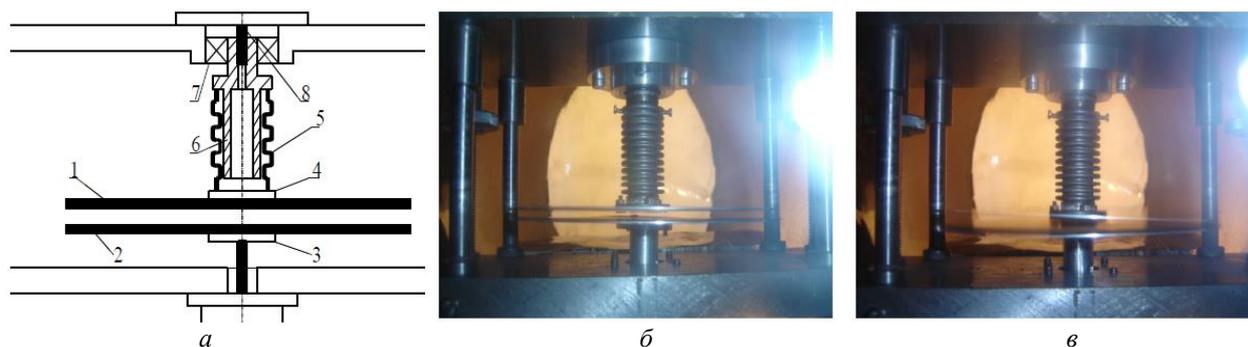


Рисунок 3 – Самовозбуждение прецессии оси невращающегося верхнего диска, закреплённого на сиффоне, при вращении нижнего диска, жёстко установленного на фланце:
a – принципиальная схема устройства; *б* – начальное положение дисков; *в* – прецессия оси диска, закреплённого на сиффоне, при вращении нижнего диска

Нижний диск 2 жёстко зафиксирован непосредственно на фланце ротора электромотора. Верхний диск 1 связан с фланцем 4 на роторе своего электромотора через тонкостенный сиффон 5 из нержавеющей стали.

Внутри сиффона с минимальным зазором относительно впадин гофров расположена ось 6. Она плотно насажена ось ротора 8 и вращается в подшипнике 7. Одновременно она жёстко связана с верхним торцом сиффона. При этом ось 6 не связана с фланцем 4 крепления верхнего диска 1. Крутящий момент передается от диска к электромотору (или наоборот), но это позволяет диску совершать осевые перемещения и угловые колебания при упругой деформации оболочки сиффона. Нижний диск был динамически не сбалансирован.

В первой части опытов ротор верхнего электродвигателя был заторможен. Первоначальный зазор между поверхностями дисков в осевой зоне составлял 2,5 мм (рисунок 3, б). После разгона нижнего диска до частоты вращения порядка 130...150 1/с возбуждалось прецессионное движение оси невращающегося верхнего диска, прикрепленного к торцу сиффона, с частотой 5...10 1/с. Амплитуда осевых колебаний кромки закрепленного на сиффоне диска достигала 5...6 мм, но это не приводило к механическому контакту дисков (рисунок 3, в). Возникновение силы отталкивания между дисками приводило к продольному сжатию оболочки сиффона, что увеличило расстояние между дисками по оси роторов электродвигателей.

Отключение электромагнитного тормоза ротора верхнего электродвигателя (без включения питания обмоток вращения его ротора) приводило к самовозбуждению несинхронного вращения диска, закрепленного на сиффоне, с частотой 1...3 1/с по направлению вращения приводного жёстко установленного нижнего диска. Одновременно практически прекращалось прецессионное движение оси верхнего диска. Такой характер процесса наблюдался при осевом расположении дисков на расстоянии 1,5...4 мм. При дальнейшем увеличении зазора (5...6 мм) наблюдалась только небольшая прецессия оси диска на сиффоне без самовозбуждения его вращения. Возбуждаемый крутящий момент был недостаточен для преодоления сопротивления вращению ротора его электродвигателя.

При снижении величины дисбаланса нижнего диска до минимально возможных значений (вибрация устройства практически не ощущалась), эффекты прецессионного движения оси диска на сиффоне и явление самовозбуждения его вращения не наблюдались даже при зазоре между дисками 1...1,5 мм.

Во второй части опытов первоначально вращался диск на сиффоне. После его раскрутки до частоты вращения 70...80 1/с подавалось напряжение на нижний электромотор для вращения динамически несбалансированного жёстко закрепленного нижнего диска по направлению,

противоположному вращению диска на сильфоне. После увеличения скорости вращения нижнего ведущего диска до 150...180 1/с возбуждалось сильное прецессионное движение оси диска, закреплённого на сильфоне (подобно описанному выше). В результате этого возникало торможение вращения более медленного диска на сильфоне практически до его остановки. Т.е. наблюдалось возникновение значительного тормозящего крутящего момента. После отключения нижнего электромотора и постепенной остановки его вращения диск, установленный на сильфоне, вновь раскручивался до максимальных величин частоты вращения, а прецессионное движение его оси исчезало.

4 Самовозбуждение вращения жёстко установленных дисков

В первой части опытов оба диска были выполнены из алюминиевого сплава и жёстко зафиксированы на фланцах роторов их электромоторов. Электромоторы 1 и 2 экспериментального устройства (рисунок 4) жёстко закреплены на плитах 3 и 4, жёстко связанных между собой стальными колонками (рисунок 4, а). Ведущий диск 6 был динамически не сбалансирован, а его электромотор 2 подключён к источнику постоянного тока. Ротор электромотора 1 был изначально расторможен, и его рабочие обмотки были отключены от источника питания. Расстояние между дисками 5 и 6 задавалось в диапазоне 1...5 мм.

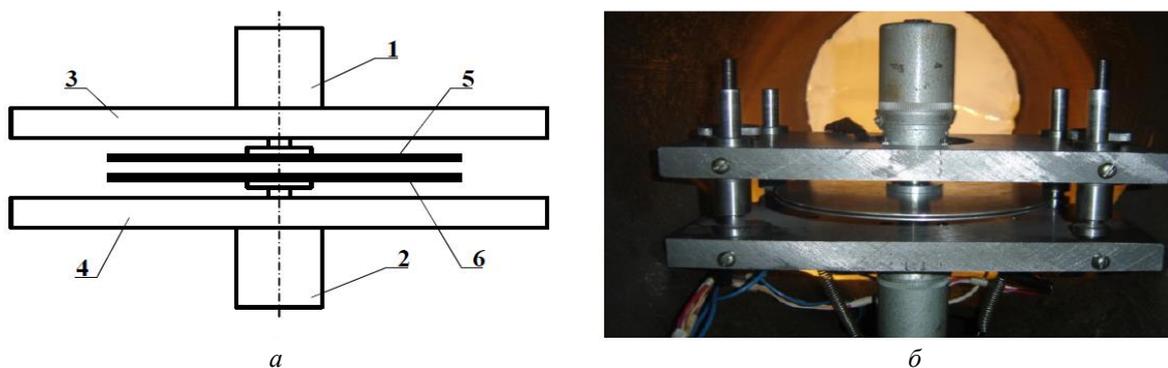


Рисунок 4 – Экспериментальное устройство:
а – конструктивная схема; б – вид внутри камеры

В момент включения электромотора 2 сначала возникала небольшая, но заметная вибрация тонкостенного ведомого диска 5 и его поворот с частотой менее 0,05 1/с. При зазоре между дисками 1,5...3 мм и выходе электромотора 2 на обороты 100...120 1/с возникало самовозбуждение вращения ведомого диска 5. Частота самовозбуждённого вращения диска (вместе с ротором его электромотора) значительно зависела от установленного между дисками расстояния и росла при его уменьшении. На рисунке 5 показана зависимость частоты вынужденного вращения от зазора между жёстко установленными дисками, полученная при остаточном давлении в вакуумной камере 0,05 Торр и частоте вращения нижнего электромотора 2 150 1/с.

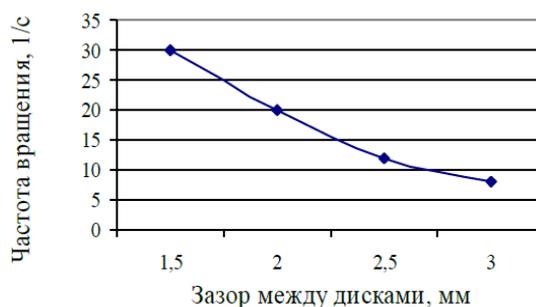


Рисунок 5 – Влияние расстояния между дисками на частоту самовозбуждённого вращения

Крутящий момент самовозбуждённого вращения диска 5 был достаточен для преодоления сопротивления холостого вращения ротора электродвигателя 1. Как показали эксперименты, его величина сравнима с величиной крутящего момента самого электромотора при подключении его рабочих обмоток к источнику питания. Для противодействия этому моменту и остановки самовозбуждённого вращения была необходима подача напряжения для противоположного вращения ротора электромотора 1 в диапазоне от 0,2 до 0,8 от величины напряжения питания ведущего электромотора 2. Максимальное значение этой величины было при зазоре между дисками 1 мм, минимальное – при 3 мм. При увеличении напряжения на рабочих обмотках электродвигателя 1 выше этих величин он начинал вращение, определяемое полярностью включения его обмоток, преодолевая крутящий момент, создававший самовозбуждение вращения диска.

Подобные зависимости были получены и во второй серии экспериментов, при других видах и сочетаниях материалов дисков: а) два картонных диска толщиной 2,5 мм; б) нижний диск из картона (2,5 мм) или из плотной бумаги (0,3 мм), а верхний – АМг3 (0,9 мм). Количественные различия в интенсивности силового взаимодействия были получены при установке двух картонных дисков (2 мм), которые были тяжелее алюминиевых, и значительно более лёгкого нижнего диска из плотной бумаги. В первом случае, вследствие более низкой скорости вращения роторов электромоторов, самовозбуждение вращения возникало при меньших величинах расстояний между поверхностями дисков. При использовании в качестве ведущего нижнего диска из плотной бумаги (0,2 мм) описанное выше силовое бесконтактное взаимодействие дисков и возникновение самовозбуждения вращения происходило с учётом того, что более тонкий и лёгкий ведущий диск из бумаги вращался со значительно более высокой частотой (порядка 200 1/с), чем диск из толстого картона (порядка 80...90 1/с), при равной величине рабочего напряжения на электромоторе. Это создавало более интенсивную вибрацию верхнего диска (из картона или алюминия), приводившую к хаотическим колебаниям и изгибным деформациям поверхностей дисков.

При увеличении осевого зазора между поверхностями использованных алюминиевых дисков до 5...6 мм даже при частоте вращения ведущего диска 6 150...180 1/с наблюдалась только вибрация ведомого диска 5, но самовозбуждение его вращения не возникало.

Не возникало самовозбуждение вращения диска 5 также при установке ведущего диска 6 без дисбаланса – даже при зазоре между дисками 1...1,5 мм.

5 Измерение силы отталкивания и величины крутящего момента при самовозбуждении вращения

Конструктивная схема экспериментального оборудования и варианты его использования для измерения величины крутящего момента самовозбуждающегося вращения экрана (ротора) и силы его отталкивания от вращающегося динамически несбалансированного ротора представлены на рисунке 6.

Электродвигатель 2 с жёстко установленным на фланце его ротора несбалансированным диском 3 крепился на вертикальной плите 1, которая горизонтальными толстыми шпильками 9 была жёстко связана с узлом установки подвижного экрана 4. Экран для обеспечения жёсткости при малой массе был выполнен из фанеры (4 мм) и покрыт алюминиевой фольгой (0,24 мм). Подвижный экран 4 жёстко соединён с осью 5, имеющей возможность перемещения во втулке 6, преодолевая сопротивление тарированной пружины 7. Для измерения величины осевого перемещения экрана 4 и действующей силы отталкивания служила упругая стальная пластина 11 с тензодатчиками, отгибаемая подвижной осью 5 при отталкивании экрана 4 от диска 3. При измерении величины самовозбуждённого крутящего момента использовалась аналогичная пластина 12 с тензодатчиками, отгибаемая штифтом, жёстко

установленным в экране 4 при его повороте под действием этого момента. Сигнал с тензодатчиков приходил на тензостанцию, расположенную вне вакуумной камеры.

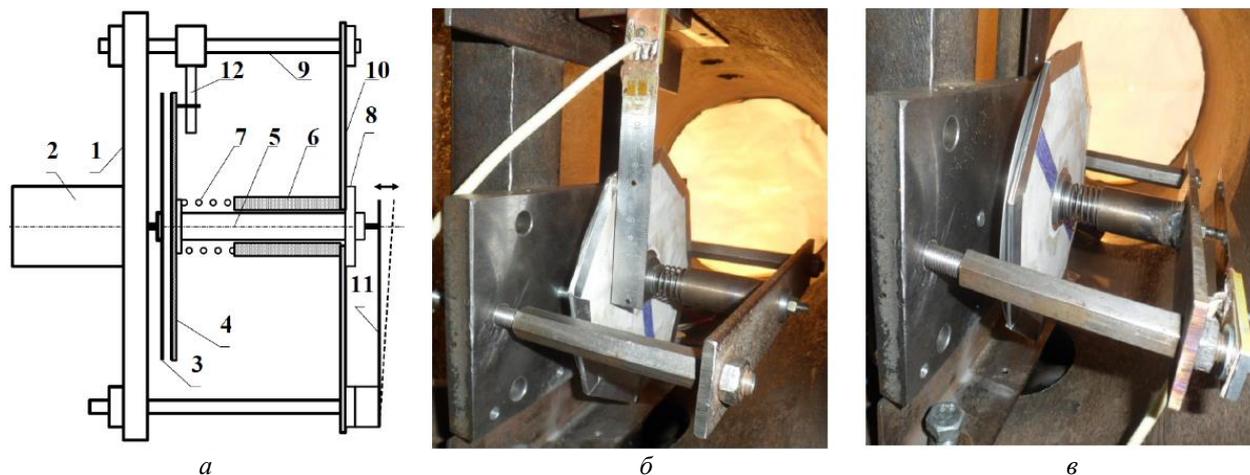


Рисунок 6 – Устройство с тензодатчиками:
 а – принципиальная схема измерений; б – вид устройства при измерении возбуждаемого крутящего момента;
 в – вид устройства при измерении возникающей силы отталкивания экрана

Было задано начальное расстояние между диском и экраном 3...3,5 мм. При скорости вращения диска 3, равной 100...120 1/с, возникла заметная вибрация экрана 4. Затем возбудилось видимое отталкивание экрана, отгибавшее пластину 11, и одновременно самовозбудилось его вращение в сторону вращения диска.

Цифровой милливольтметр тензостанции показывал отгибание пластины в зоне оси 5 на 1,5...2 мм, что с учётом тарировки пластины с тензодатчиками соответствовало силе отталкивания 2,5...2,7 Н. Частота вращения экрана 4, преодолевавшего сопротивление со стороны пружины 7, составляла 2...3 1/с при скорости вращения диска 3 150 1/с. Наведённый крутящий момент позволял преодолевать силу трения при вращении в паре «ось-втулка» и силу трения, создаваемую прижатой к экрану предварительно сжатой пружиной.

Тензодатчики пластины 12 через величину изгиба при известном плече действия силы позволяли определить величину крутящего момента при самовозбуждении вращения экрана 4. Для рассмотренных параметров процесса величина этого момента была равна 0,01 Н·м.

Как показали последующие эксперименты, при установленном зазоре между диском и экраном более 4...5 мм эффекты отталкивания экрана и самовозбуждения его вращения не возникали, хотя заметная вибрация экрана по-прежнему наблюдалась.

Это означает, что возникновение сил отталкивания и самовозбуждение вращения экрана здесь или диска в вышеописанных опытах не могут быть обусловлены простым действием вибрации при вращении динамически несбалансированного, но лёгкого (0,05 кг) диска.

Заключение

Экспериментально исследовано явление самовозбуждения вращения диска (ротора), возникающего при высокоскоростном (100...180 1/с) вращении первого динамически несбалансированного ротора (диска), создающего циркулярную вибрацию второго соосно расположенного диска (экрана), установленного на общем с ним жёстком основании на расстоянии 1,5...4 мм. Интенсивность возбуждённого вращения зависит от частоты вращения ведущего диска (ротора) и начального расстояния от него до ведомого диска или экрана. Величина возникающей силы отталкивания и крутящего момента, вызывающего самовозбуждение несинхронного вращения ведомого диска или экрана, снижается при уменьшении частоты вращения ведущего

несбалансированного диска. Также она уменьшается при увеличении расстояния между поверхностями соосно расположенных дисков (диска и экрана).

Явление самовозбуждения несинхронного вращения диска (экрана) и отталкивания дисков (экрана от диска) проявляется независимо от электропроводности их материалов и оно не обусловлено наличием остаточной воздушной среды [9].

Необходимым условием возникновения самовозбуждения вращения и отталкивания близко расположенных соосных роторов (ротора и экрана) является динамический дисбаланс вращающегося первого ротора и возможность возбуждения циркулярной вибрации второго, первоначально неподвижного ротора (экрана), например, при наличии общего жёсткого основания. Для силового взаимодействия двух близко расположенных соосных вращающихся роторов, не связанных общим жёстким основанием, необходим дисбаланс обоих роторов.

Простым действием вибраций в проведённых исследованиях нельзя объяснить следующее:

- отталкивание подвижного экрана, соосно расположенного на расстоянии 1...4 мм от вращающегося несбалансированного диска, и прекращение этого при зазоре между ними более 5...6 мм;

- величину крутящего момента при самовозбуждении вращения жёстко закреплённых дисков, установленных с зазором 1,5...3 мм, сравнимую с величиной крутящего момента электромотора, вращающего ведущий несбалансированный диск.

Экспериментально установленное явление требует теоретического обоснования. В качестве гипотезы для объяснения механизма явления самовозбуждения несинхронного вращения близко расположенных соосных роторов предложена механическая аналогия с гиромангнитными (магнитомеханическими) явлениями [9].

Список использованных источников

1. Явление синхронизации вращающихся тел (роторов). Диплом № 333 / И. М. Абрамович, И. И. Блехман, Б. П. Лавров, Д. А. Плисс // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. – 1988. – № 1. – С. 1.
2. Разработка вибрационного способа сухой классификации полезных ископаемых / Д. А. Плисс, И. М. Абрамович // Отчет ВНИИ Механобр. – Л., 1948.
3. Блехман, И. И. Синхронизация в природе и технике / И. И. Блехман. – 2-е издание, дополненное. – Москва : URSS, 2015. – 432 с.
4. Пановко, Г. Я. Экспериментальный анализ колебаний механической системы с самосинхронизирующимися инерционными вибровозбудителями / Г. Я. Пановко, А. Е. Шохин, С. А. Еремейкин // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2015. – № 6. – С. 11-15.
5. Блехман, И. И. О некоторых возможностях совершенствования вибрационных машин с самосинхронизирующимися инерционными вибровозбудителями / И. И. Блехман, В. Б. Васильков, Н. П. Ярошевич // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2013. – № 3. – С. 18-22.
6. Кошелев, А. В. Роторно-маятниковая самосинхронизация параметрических вибровозбудителей на изотропном упругом основании / А. В. Кошелев, Н. Н. Денцов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2018. – Т. 17, № 1. – С. 150-159. DOI 10.18287/2541-7533-2018-17-1-150-159.
7. Самохвалов, В. Н. Бесконтактная передача вращения и отталкивание масс в вакууме / В. Н. Самохвалов // Вестник СамГУПС. – 2015. – № 2-2(28). – С. 164-171.
8. Самохвалов, В. Н. Силовые эффекты при низкочастотной циркулярной вибрации / В. Н. Самохвалов // Фундаментальные основы механики. – 2022. – № 10. – С. 42-46. DOI 10.26160/2542-0127-2022-10-42-46.
9. Самохвалов, В. Н. Механический аналог гиромангнитных эффектов / В. Н. Самохвалов // Журнал передовых исследований в области естествознания. – 2023. – № 18. – С. 56-66. DOI 10.26160/2572-4347-2023-18-56-66.

Self-excitation of non-synchronous rotation of closely spaced unbalanced rotors

V. N. Samokhvalov | Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor of the Department of Aircraft Production and Quality Management in Mechanical Engineering; Samara National Research University, Samara, Russian Federation; samokhvalov.vn@ssau.ru

The results of experimental studies of the process of self-excitation of rotation with close coaxial arrangement of thin-walled disks, as well as rigidly and movably installed screens coaxially located with them, are considered and analyzed. Self-excitation of rotation was observed only when one dynamically unbalanced rotor (disk) rotated with a frequency of more than 50...150 Hz and when circular vibration of an initially non-rotating second rotor (disk or screen) was excited, located coaxially at a distance of 1...4 mm from it on a common rigid base. The self-excitation of the rotation of the rotor installed on an electric motor not connected to the network was not synchronous with the rotation speed of the dynamically unbalanced rotor rotated by the electric motor. With a rotor (disk) weight of 0.5 N and an initial distance from the screen of 3...3.5 mm, the force causing repulsion of the movable screen from the rotor was about 2.5...2.7 N, and the torque was about 0.01 Nm. When the distance between the surfaces of the coaxially located dynamically unbalanced rotating rotor and the initially stationary disk or screen was more than 5...6 mm, the process of repulsion and self-excitation of rotation of the screen or rotor was not observed. The rotation of a well-balanced rotor in the absence of circular vibration of the second rotor or screen, even with a distance between them of 1...1.5 mm, other things being equal, also did not lead to their forceful interaction and self-excitation of rotation.

Keywords: imbalance; circular vibration; self-excitation of rotation; repulsion of rotors

Citation: Samokhvalov, V. N. (2024), "Self-excitation of non-synchronous rotation of closely spaced unbalanced rotors", *Journal of Dynamics and Vibroacoustics*, vol. 10, no. 3, pp. 19-28. DOI: 10.18287/2409-4579-2024-10-3-19-28. (In Russian; abstract in English)

References

1. Abramovich, I. M., Blekhman, I. I., Lavrov, B. P. and Pliss, D. A. (1988), "The phenomenon of synchronization of rotating bodies (rotors). Diploma No. 333", *Otkrytiya, izobreteniya, promyshlennye obrazcy, tovarnye znaki* [Discoveries. Inventions. Industrial designs. Trademarks], no. 1, p. 1. (In Russian).
2. Pliss, D. A. and Abramovich, I. M. (1948), *Development of a vibration method for dry classification of minerals*, Report of VNII Mekhanobr, L. (In Russian).
3. Blekhman, I. I. (2015), *Synchronization in nature and technology*, 2nd edition, supplemented, URSS, Moscow, 432 p. (In Russian).
4. Panovko, G. Ya. (2015), "Experimental analysis of vibrations of a mechanical system with self-synchronizing inertial vibration exciters", *Problems of mechanical engineering and machine reliability*, no. 6, pp. 11-15. (In Russian).
5. Blekhman, I. I. (2013), "On some possibilities for improving vibration machines with self-synchronizing inertial vibration exciters", *Problems of mechanical engineering and machine reliability*, no. 3, pp. 18-22. (In Russian).
6. Koshelev, A. V. (2018), "Rotor-pendulum self-synchronization of parametrical vibration generators on an isotropic elastic foundation", *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*, vol. 17, no. 1, pp. 150-159. DOI 10.18287/2541-7533-2018-17-1-150-159. (In Russian).
7. Samokhvalov, V. N. (2015), "Non-contact transmission of rotation and repulsion of masses in a vacuum", *Bulletin of SamGUPS*, no. 2-2 (28), pp. 164-171. (In Russian).
8. Samokhvalov, V. N. (2022), "Force effects in low-frequency circular vibration", *Fundamental principles of mechanics*, no. 10, pp. 42-46. DOI 10.26160/2542-0127-2022-10-42-46. (In Russian).
9. Samokhvalov, V. N. (2023), "Mechanical analogue of gyromagnetic effects", *Journal of advanced research in the field of natural science*, no. 18, pp. 56-66. DOI 10.26160/2572-4347-2023-18-56-66. (In Russian).