

Баранов М.А.¹, Мухопад К.А.², Щербаков В.М.³;

¹ доктор физико-математических наук, профессор, Алтайский государственный технический университет; ² старший преподаватель, Алтайский государственный технический университет; ³ старший преподаватель, Алтайский государственный технический университет;

ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ПОДШИПНИКОВ БЫСТРО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ТЕЛА, ЗАКРЕПЛЁННОГО С ПЕРЕКОСОМ

Аннотация

Анализируются динамические реакции подшипников, на оси которых вращается тело произвольной осесимметричной формы, закреплённое так, что его ось симметрии образует произвольный угол с осью вращения.

Ключевые слова: осевая симметрия, вращение, силы инерции.

Baranov M. A.¹, Mukhopad K.A.², Shcherbakov V, M.³;

¹ PhD in Physics and mathematics, professor, Altay State Technical University; ² senior teacher, Altay State Technical University; ³ senior teacher, Altay State Technical University;

DYNAMIC CONSTRAINT FORSES OF BEARINGS OF QUICKLY ROTATING AXIS-SYMMETRICAL ASKEW FIXED BODY

Abstract

Dynamic constraint forces of bearings, on axis of which rotate axis-symmetrical body are analyzed. Corner between symmetrical axis and rotation axis can be arbitrary.

Keywords: axial symmetry, rotation, inertia forces.

Работа современных механизмов и машин основана на вращении деталей, большинство из которых имеют осесимметричную или близкую к ней форму. Это колёса, шестерни, маховики, роторы, крыльчатки, турбины и многое другое. Технологии изготовления подобных деталей (токарные и карусельные станки, точное литьё, штамповка) вполне отработаны и обеспечивают их необходимую точность. При совпадении оси симметрии детали с осью её вращения реакции подшипников во время вращения остаются такими же, как и в статическом состоянии, то есть, компенсирующими лишь силу тяжести. Однако даже самое незначительное несовпадение этих осей приводит к возникновению дополнительных динамических реакций подшипников, обусловленных вращением. При больших угловых скоростях абсолютная величина этих сил может значительно превышать вес вращающейся детали и, в конечном счёте, стать причиной выхода из строя подшипников или механизма в целом. В этой связи предвидение динамических реакций подшипников в зависимости от формы и размеров детали, а также параметров её установки остаётся крайне актуальным. Смещение центра масс произвольного вращающегося тела на Δr_C относительно оси вращения

приводит к возникновению главного вектора центробежных сил инерции $\vec{\Phi}_1$. Выражение для модуля этого вектора является классическим

$$\Phi_1 = m a_C = m \Omega^2 \Delta r_C, \quad (1)$$

где m – масса вращающегося тела, a_C – модуль ускорения центра масс, Ω – угловая скорость. Произвольное осесимметричное тело представимо в виде следа, заметаемого одним из главных сечений тела (плоской фигурой) при его вращении вокруг некоторой оси z (оси симметрии), лежащей в плоскости сечения и не пересекающей его (рисунок 1).

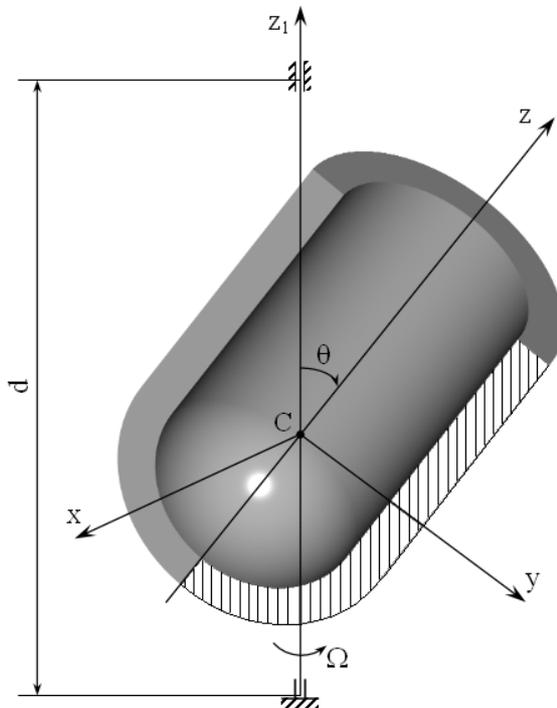


Рисунок 1. Разрез вдоль одного из главных сечений (показано штриховкой) осесимметричного тела, установленного на оси вращения z_1 с перекосом. θ – угол перекоса; Cz – ось симметрии; Cx – ось поворота тела на угол θ .

Рассмотрим случай, когда центр масс C тела находится на оси вращения z_1 , а его ось симметрии z образует с ней угол θ . Ось z формально может быть совмещена с осью z_1 путём обратного поворота тела на угол θ вокруг оси Cx , проходящей через центр масс перпендикулярно выбранному главному сечению. Ось y проведём из центра масс перпендикулярно оси z в плоскости сечения. Полученная система координат $Cxyz$ жёстко связана с вращающимся телом. Главный вектор сил инерции в этом случае равен нулю, а главный момент сил инерции отличен от нуля и направлен параллельно оси x . Точное аналитическое выражение проекции главного момента сил инерции на ось x имеет вид

$$M_X^\Phi = \pi \rho \Omega^2 \sin(2\theta) I_{\text{формы}}, \quad (2)$$

где ρ – плотность материала, Ω – угловая скорость, $I_{\text{формы}}$ – интеграл формы, зависящий только от формы и размеров главного сечения:

$$I_{\text{формы}} = \int_{\text{по_сечению_тела}} \left[\frac{y^2}{2} - z^2 \right] y ds \quad (3)$$

Интегрирование в (3) проводится по площади сечения. ds – элемент площади. Строгий вывод этих соотношений приводится в

[1, 2]. Реакции подшипников, обусловленные \vec{M}_X^Φ образуют пару сил, величины которых равны

$$\Phi_2 = \frac{M_X^\Phi}{d}, \quad (4)$$

где d – расстояние между подшипниками. Замечательно то, что влияние внешних (угловая скорость, угол перекоса) и внутренних (плотность материала, форма и размер тела) факторов на динамические реакции в (2) и, следовательно, в (4) представлено в виде независимых множителей, что существенно упрощает анализ и возможное предвидение этих сил. Характерной особенностью интеграла формы (3) является то, что он пропорционален пятой степени размеров тела. Это означает, что при сохранении плотности материала и внешних параметров вращения пропорциональное увеличение размеров тела, например, в 2 раза приведёт к увеличению динамических реакций в 32 раза.

Допустимый интервал изменения угла θ от 0 (оси симметрии и вращения совпадают) до $\pi/2$ (оси перпендикулярны). В этом интервале углов $\sin(2\theta)$ положителен. Поэтому знак проекции вращающего момента M_X^Φ на ось x совпадает со знаком

интеграла формы. При внимательном рассмотрении (3) видно, что если в сечении превалирует координата y то $I_{\text{формы}} > 0$, что характерно для сплюснутых тел. В этом случае возникает восстанавливающий момент сил инерции ($M_{\text{восст}}$), направленный вдоль оси x и, следовательно, стремящийся совместить ось симметрии с осью вращения. В сечении вытянутых тел превалирует координата z . Интеграл формы таких тел отрицателен. Возникающий при этом момент сил инерции направлен против оси x и стремится расположить ось симметрии перпендикулярно оси вращения. Такой момент является опрокидывающим ($M_{\text{опр}}$). Наиболее наглядно это на примере однородного цилиндра, показанного на рисунке 2.

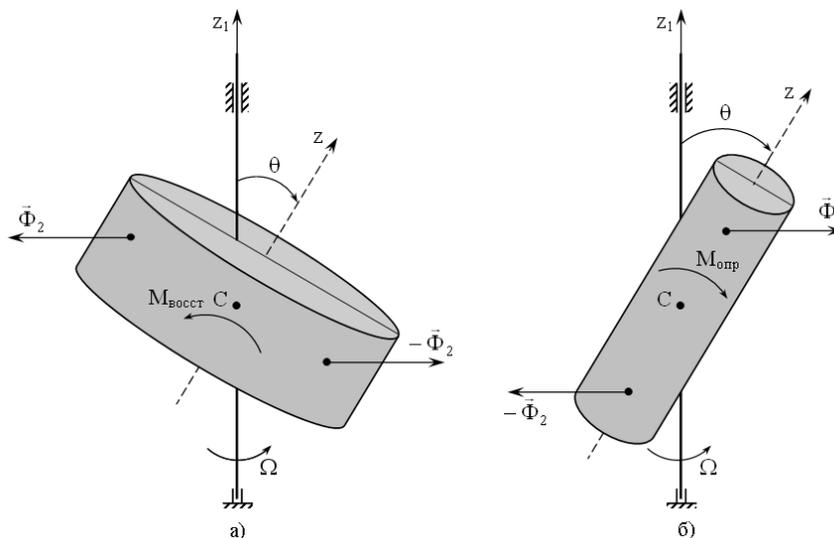


Рисунок 2. Восстанавливающий момент сил инерции ($M_{\text{восст}}$), действующий на сплюснутый (а) цилиндр и опрокидывающий момент ($M_{\text{опр}}$), действующий на вытянутый (б) цилиндр при их вращении вокруг оси z_1 . $\vec{\Phi}_2$ и $-\vec{\Phi}_2$ – главные векторы сил инерции, действующие на одну из половинок цилиндра.

В соответствии с (3) пропорции размеров главного сечения можно подобрать так, что интеграл формы окажется нулевым.

В этом случае, как момент сил инерции \vec{M}_X^Φ , так и динамические реакции $\vec{\Phi}_2$ останутся нулевыми при любых углах перекоса. Тело вращения с такими пропорциями правомерно назвать телом нейтральной формы. Тривиальным примером тела нейтральной формы является сферически симметричное тело.

Пример.

Из тонкостенной трубы диаметра D требуется изготовить маховик. Определить такую длину h заготовки трубы, чтобы при случайном перекосе осей маховика, допущенном при его изготовлении дополнительные динамические реакции подшипников не возникли. Массой спиц, связывающих маховик с осью пренебречь.

Для решения данной задачи получим выражение для интеграла формы и приравняем его к нулю. Начало координат необходимо совместить с центром масс маховика, который совпадает с его геометрическим центром. Элемент площади сечения удобнее всего выбрать в виде $ds = dydz$.

$$I_{\text{формы}} = \int_0^R \int_{-h/2}^{h/2} \left[\frac{y^3}{2} - z^2 y \right] dz dy = \int_0^R \left[\frac{y^3}{2} h - y \frac{h^3}{12} \right] dy \quad (5)$$

Пусть ΔR - малая, но не нулевая толщина трубы. Поскольку труба тонкая, то интегрирование по y имеет смысл заменить одним слагаемым при $y=R$

$$I_{\text{формы}} = \frac{Rh\Delta R}{2} \left[R^2 - \frac{h^2}{6} \right] = 0 \quad (6)$$

отсюда $h^2 = 6R^2$ или $h = 2,450R = 1,225D$

Момент сил инерции тел скомбинированных из материалов различной плотности представляется в виде суммы соответствующих моментов от их однородных частей. Для тел, имеющих выборки материала – диски с вырезами, крыльчатки, шестерни, колёса турбин и т.п. в выражениях (2) – (4) необходимо использовать значение плотности, усреднённой по заматаемому объёму. Естественно, что из-за отсутствия материала в выбранных объёмах усреднённая плотность окажется ниже плотности сплошного материала. В наиболее общем случае, когда ось вращения и ось симметрии являются скрещивающимися прямыми, реакции подшипников вынуждены компенсировать как главный вектор, так и главный момент сил инерции. При этом на одном из подшипников действие этих факторов компенсируется, а на другом усиливается.

Почти всегда динамические реакции подшипников являются вредными. При этом основная опасность заключается вовсе не в их большой величине, которая может в десятки и даже сотни раз превышать вес тела, а в том, что они знакопеременные. Меняя своё направление вместе с вращающимся телом Ω раз каждые π секунд, они приводят к эффекту отбойного молотка. Единственный способ борьбы этими силами заключается в точном изготовлении вращающихся деталей и в их точной установке.

В отличие от уже рассмотренных сил, от динамических реакций, обусловленных гироскопическим эффектом, невозможно избавиться никаким точным изготовлением деталей или их точной установкой. Но это и не страшно, поскольку таковые пропорциональны лишь первой степени угловой скорости и не знакопеременные.

Литература

1. Расчётные задания по теоретической механике [Текст]: учебное пособие / М.А.Баранов, К.А.Мухопад.- изд-во АлтГТУ, 2011.- 256 с.
2. Баранов М.А., Мухопад К.А. Расчётные задания по теоретической механике.- (<http://www.theormech2011.narod2.ru>).

Белашов А.Н.

Физик-теоретик, автор более 60 изобретений, одной константы, двух физических величин и более 25 законов физики в области электротехники, электрических явлений, гидродинамики, механизма образования планет и Галактик нашей Вселенной.

ОПРОВЕРЖЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Аннотация

Статья посвящена опровержению основного фундаментального закона физики - закона сохранения энергии, согласно которого важнейшая физическая величина энергия в замкнутой системе не возникает и не исчезает, а только преобразуется из одной формы в другую и сохраняется во времени. Неправильное понимание процессов образования самой энергии в пространстве Вселенной связано с тем, что Исаак Ньютон в XVII веке, который впервые чётко в математической форме сформулировал в 1687 году закон всемирного тяготения между двумя материальными телами, не учитывал проблемные связи между пространством временем и материей. Для того чтобы детально рассмотреть это явление необходимо по новому взглянуть не только на время, силу, работу и закон сохранения энергии, но и энергию самих материальных тел расположенных в пространстве.

Ключевые слова: опровержение закона сохранения энергии, физическая величина, энергия.

Balashov A.N.

A theoretical physicist, author of more than 60 inventions, one constant, two physical quantities, and more than 25 laws of physics in the field of electrical engineering, electrical phenomena, fluid dynamics, the mechanism of the formation of planets and galaxies in our universe. E-mail: aleksey@belashov.info website: <http://www.belashov.info>

The refutation of the law of conservation of energy

Abstract

The article is devoted to refuting the basic fundamental law of physics - the law of conservation of energy, according to which the most important physical quantity is the energy in a closed system does not arise and disappear, but only converted from one form to another and preserved in time. Improper understanding of the formation of the most energy in the space of the universe due to the fact that Isaac Newton XVII century, which was first clearly formulated in mathematical form in 1687, the law of universal gravitation between two material bodies do not take into account the problematic relationship between time and space matter. In order to thoroughly examine this phenomenon should take a new look not only at the time, strength, performance and energy conservation, but also the energy of material bodies themselves are located in space.

Keywords: denial of the law of conservation of energy, the physical quantity energy.

Термин энергия впервые появился в работах Аристотеля. Энергия - скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения и взаимодействия материи, мерой перехода движения материи из одних форм в другие. Введение понятия энергии было удобно тем, что в случае, если физическая система является замкнутой, то её энергия сохраняется во времени. Это утверждение сейчас носит название закона сохранения энергии. Поскольку закон сохранения энергии относится не к конкретным величинам и явлениям, а отражает общую, применимую везде и всегда, закономерность, то его можно именовать не законом, а принципом сохранения энергии. Однако существует множество необъяснимых моментов и противоречий этого явления, которые опровергают это утверждение.

С фундаментальной точки зрения энергия представляет собой интеграл движения связанный, согласно теореме Нётер с однородностью времени, то есть независимостью законов физики от момента времени, в который рассматривается система. Тем не менее, существует сложный и необъяснимый момент в познании этого явления, а именно, в каких единицах физических величин будет выражаться однородность времени и кто задаст точку отсчёта, когда начинается сам процесс однородности времени.