

Как можно заметить, максимальная температура в твердых телах достигает 43,9 °С, при заданной начальной температуре текучей и твердых сред 30 °С. Температура текучей среды достигает максимальное значение равное 39 °С при максимальной скорости в зазоре 16 см/с.

Заключение

В результате проведенного исследования была продемонстрирована важность использования компьютерного моделирования в области ядерной физики. Полученные данные позволяют судить о качестве и скорости получаемых полупроводников и дают возможность рассмотреть дальнейшие пути повышения плотности тепловых нейтронов путем размещения фильтров, либо увеличения размеров графитовой призмы.

Теплогидравлический расчет позволяет оценивать величины температур теплоносителя и твердых тел, влияние давления на результат исследования, что также является неотъемлемой частью для успешного проведения исследования. Исходя из результатов проведенного расчета, охлаждение канала возможно за счет естественной конвекции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич М.И., Шкаровский Д.А. Расчет переноса нейтронов методом МонтеКарло по программе MCSU: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ. – 154 с.
2. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 448

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА “ЗАСТРЕВАНИЯ” МАЯТНИКА НА ВРАЩАЮЩЕМСЯ ВАЛУ

О.Ю. Суменков

(г. Томск, Томский политехнический университет)

e-mail: oys5@tpu.ru

MODELING THE EFFECT OF “STICKING” OF A PENDULUM ON A ROTATING SHAFT

O.Y. Sumenkov

(Tomsk, Tomsk Polytechnic University)

Abstract. The authors carried out the modeling of the motion of a pendulum mounted with the possibility of free rotation on the rotor shaft of an electric motor fixed in a housing on elastic supports. The peculiarities of the motion of the pendulum within the range from zero to a given value of the angular velocity of the rotor of the electric motor with the presence in this range of natural frequencies of oscillations of the mechanical system are revealed. It is established that when changing the inertia moment of a pendulum, there is possible mode of movement when the rotor rotates with a given angular velocity, and the angular velocity of the pendulum rotation is equal to one of the natural frequencies of the mechanical system. The results of a numerical experiment conducted for the first time in modeling of the motion of a pendulum on a rotating shaft confirmed the results of a previous experiment on the possible emergence of a pendulum “sticking” effect for mechanical systems of a general form.

Keywords: mechanical system, natural oscillation frequency, pendulum, angular velocity, motor shaft, the effect of “sticking”

Введение. Одним из самых известных объектов исследований в механике является маятник. Первыми движение маятника изучали Галилей, Ньютон [1], Гюйгенс [2].

Исследования движения маятника с малыми углами отклонения положили начало линейной теории колебаний механических систем, а с большими углами отклонений – созданию нелинейной теории колебаний *ms*.

В настоящее время имеется два направления исследований движения маятников. Это исследования движения маятника на вибрирующем основании [3–10], и исследования, в ко-

торых разрабатываются методы расчета колебаний нелинейных механических систем, в том числе на примере маятника [11-16].

Основанием для проведения настоящей работы послужили результаты экспериментальных исследований движения маятника на вращающемся валу [17-18].

В этих работах использовалась экспериментальная установка, изображенная на рисунке 1, которая представляла собой электродвигатель 1, закрепленный на металлической пластине 2, которая в свою очередь крепилась с помощью 4-х пружин 3, на неподвижном основании 4. На валу двигателя с возможностью свободного вращения устанавливался маятник 5. Маятник состоял из стержня с резьбой для навешивания грузов, металлического кольца и подшипника качения. Для измерения угловой скорости вращения маятника и двигателя использовался оптический тахометр 6. Данная механическая система в плоскости, перпендикулярной плоскости вала электродвигателя, имела три собственные частоты колебания: $k_1=44,0$ рад/с; $k_2=100,5$ рад/с; $k_3=123,1$ рад/с. Эти собственные частоты колебаний механической системы были меньше частоты вращения вала электродвигателя $\omega=157,0$ рад/с.

Суть эксперимента заключалась в измерении угловой скорости маятника на вращающемся валу двигателя при различных моментах инерции массы маятника.

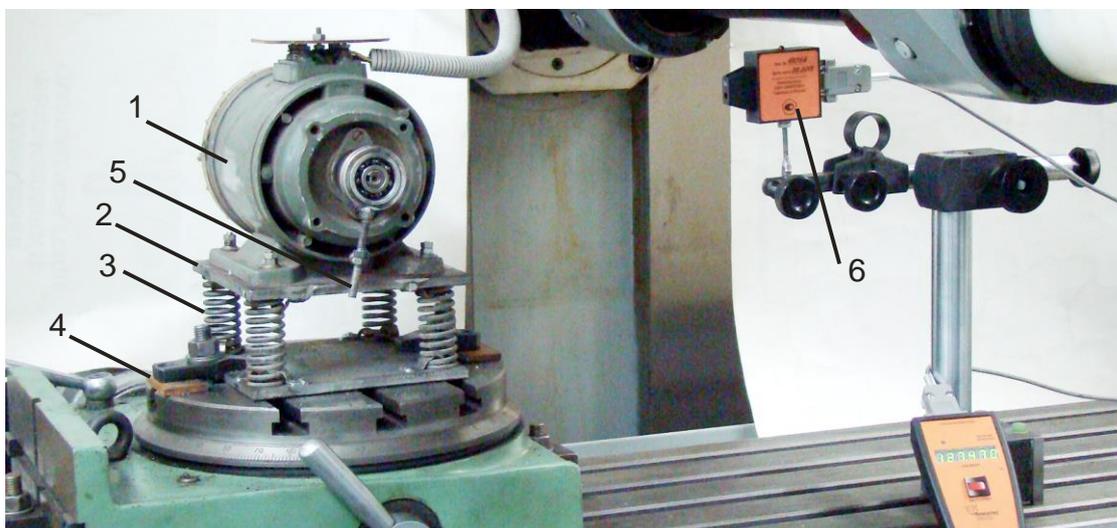


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – электродвигатель; 2 – металлическая пластина; 3 – пружины; 4 – неподвижное основание; 5 – маятник; 6 – оптический тахометр.

В результате эксперимента при постоянном моменте трения в опоре маятника было установлено следующее. При моменте инерции в диапазоне $256,8 \leq I \leq 281,2$ г \times см², маятник вращался вместе с валом электродвигателя, и его угловая скорость равнялась $\omega=157,0$ рад/с. При моменте инерции маятника в диапазоне $304,0 \leq I \leq 369,8$ г \times см² угловая скорость вращения маятника составила $\omega=118,2$ рад/с, которая с точностью эксперимента равна третьей собственной частоте колебаний механической системы $k_3=123,1$ рад/с. При моменте инерции маятника в диапазоне $394,5 \leq I \leq 506,3$ г \times см² его угловая скорость вращения маятника составила $\omega=100,5$ рад/с. Это значение угловой скорости совпало со второй собственной частотой колебаний нашей механической системы $k_2=100,5$ рад/с. При моменте инерции маятника в диапазоне $531,0 \leq I \leq 603,2$ г \times см² угловая скорость вращения маятника $\omega = 44,0$ рад/с. Это значение угловой скорости совпало с первой собственной частотой колебания механической системы $k_1=44,0$ рад/с.

Таким образом, при постоянном моменте трения в опоре маятника и при изменении момента инерции его массы, имеет место такой режим движения, при котором ротор вращается с угловой рабочей скоростью, а угловая скорость маятника близка или совпадает с одной из частот колебаний механической системы. Это новое явление было названо эффектом “застревания” маятника на вращающемся валу.

Целью настоящей работы является моделирование эффекта “застревания” маятника на вращающемся валу.

Выбор и описание движения модели механической системы с маятником на вращающемся валу. Для исследований была выбрана следующая модель, которая представляет собой корпус как симметричное твердое тело кубической формы, который закреплен на неподвижном основании с помощью симметрично расположенных четырех вертикальных и четырех горизонтальных невесомых упругих опор. В корпусе установлен ротор в форме диска, имеющий статическую неуравновешенность e , а на валу ротора установлен с возможностью вращения относительно вала маятник массой m и длины l . Ось вращения ротора проходит через центр масс корпуса (точка O_1 на Рис. 2). На Рис.2 также изображены демпферы, условно обозначающие наличие сопротивления пропорционального скорости движения корпуса. Движение модели будем изучать по отношению к неподвижной системе координат $Oxyz$, начало которой (точку O) совместим с центром масс корпуса в положении его статического равновесия. Будем также считать, что движение вдоль оси z и повороты вокруг осей x, y, z отсутствуют. Тогда для описания движения модели можно использовать три обобщенных координаты: x_1, y_1 – перемещение центра масс корпуса O_1 и φ -угол отклонения маятника от его нижнего положения.

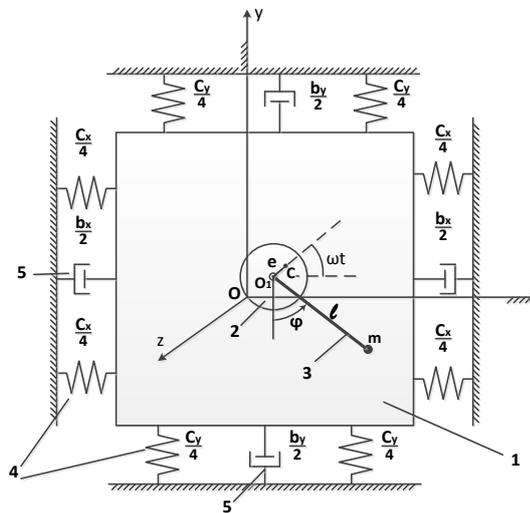


Рис. 2. Механическая модель маятника на вращающемся валу двигателя, установленного в корпусе: 1 – корпус; 2 – ротор с валом (точка C – центр масс ротора); 3 – маятник; 4 – невесомые упругие опоры корпуса; 5 – демпферы корпуса.

Для вывода дифференциальных уравнений движения модели используем уравнение Лагранжа 2-го рода в форме:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = - \frac{\partial P}{\partial q_i} - \frac{\partial \Phi}{\partial q_i} + Q_\varphi, \quad (1)$$

$$i = 1, 2, 3 \quad (q_1 = x_1; q_2 = y_1; q_3 = \varphi)$$

В этом уравнении: T – кинетическая энергия; P – потенциальная энергия; Φ – функция Релея;

$Q_\varphi = k(\omega - \dot{\varphi})$. Здесь ω – угловая скорость ротора, k – коэффициент сопротивления относительно вращению маятника на валу ротора.

Кинетическая энергия механической системы T в нашем случае складывается из кинетической энергии корпуса T_k , кинетической энергии ротора T_p и кинетической энергии маятника T_m и после преобразований имеет вид:

$$T = \frac{1}{2} M(\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2) + M_p e \omega (-\dot{x}_1 \sin(\omega t) + \dot{y}_1 \cos(\omega t)) + \frac{1}{2} I_p \omega^2 + ml(\dot{x}_1 \dot{\varphi} \cos(\varphi) + \dot{y}_1 \dot{\varphi} \sin(\varphi)) + \frac{1}{2} ml^2 \dot{\varphi}^2, \quad (2)$$

В этом выражении $M = M_k + M_p + m$; M_k – масса корпуса; M_p – масса ротора; I_p – момент инерции ротора.

Потенциальная энергия механической системы Π складывается из потенциальной энергии деформации упругих опор в горизонтальном Π_x и в вертикальном Π_y направлениях и потенциальной энергии сил тяжести корпуса Π_k , ротора Π_p маятника Π_m . После преобразований учета условия статического равновесия выражение для потенциальной энергии примет вид:

$$\Pi = \frac{1}{2} c_x x_1^2 + \frac{1}{2} c_y y_1^2 - mg l \cos(\varphi) \quad (3)$$

где c_x, c_y – коэффициенты жесткости упругих опор в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно.

Выражение для функции Релея при наличии демпфирования только у корпуса будет иметь вид:

$$\Phi = \frac{1}{2} b_x \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} b_y \dot{y}_1^2, \quad (4)$$

где b_x, b_y – коэффициенты сопротивления движению корпуса в горизонтальном и в вертикальном направлениях.

После процедуры составления дифференциальных уравнений движения модели, используя уравнения Лагранжа 2-го рода в форме (1) и выражения (2), (3), (4), получим систему трех дифференциальных уравнений второго порядка:

- 1) $M\ddot{x}_1 + ml\ddot{\varphi} \cos(\varphi) = M_p e \omega^2 \cos(\omega t) + ml\dot{\varphi}^2 \sin(\varphi) - c_x x_1 - b_x \dot{x}_1$
- 2) $M\ddot{y}_1 + ml\ddot{\varphi} \sin(\varphi) = M_p e \omega^2 \sin(\omega t) - ml\dot{\varphi}^2 \cos(\varphi) - c_y y_1 - b_y \dot{y}_1$
- 3) $ml^2\ddot{\varphi} + ml\ddot{x}_1 \cos(\varphi) + ml\ddot{y}_1 \sin(\varphi) = k(\omega - \dot{\varphi}) - mg l \sin(\varphi)$

(5)

Исследование влияния массы маятника на его угловую скорость. Суть данного эксперимента заключалась в исследовании закона разгона маятника при различных его массах и при неизменных других исходных данных. Численное интегрирование дифференциальных уравнений (5) осуществлялось в среде MATLAB с помощью функции `ode15i` при следующих исходных данных: $M_k = 8$ кг; $M_p = 2$ кг; $m = 0,02$ кг; $b_x = b_y = 25$ Нс/м; $c_x = 4 \times 10^5$ Н/м; $c_y = 1 \times 10^5$ Н/м; $e = 0$; $k = 1 \times 10^{-4}$ Нм/рад., $l = 0,05$ м. При приведенных выше исходных данных, наша механическая система имеет две собственные частоты колебаний: $k_1 = \sqrt{c_y/M} = 100$ рад/с; $k_2 = \sqrt{c_x/M} = 200$ рад/с. Примем, что при $0 \leq t \leq 10$ с. ротор разгоняется по закону $\omega = 30t$, а при $t > 10$ с угловая скорость ротора $\omega = 300$ рад/с. Результат численного интегрирования:

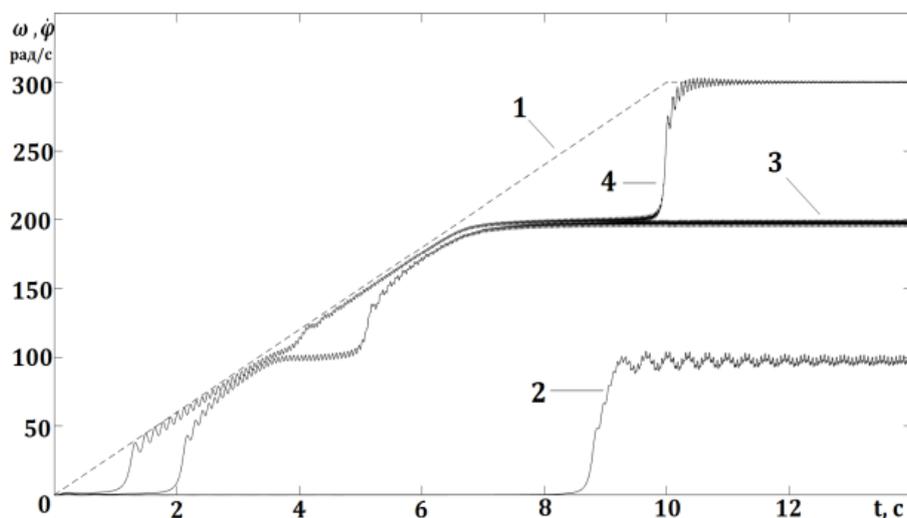


Рис. 3. 1 – закон разгона ротора. Законы движения маятника при разной его массе: 2 – при $0,0204 \leq m \leq 0,0614$ (кг); 3 – при $0,0053 \leq m < 0,0204$ (кг); 4 – $m < 0,0053$ (кг) ;

Установлено, что при изменении массы маятника в диапазоне: $0,0204 \leq m \leq 0,0614$ (кг) через 8 секунд после начала движения ротора, маятник разгоняется и начинает вращаться с угловой скоростью $\dot{\varphi} = 100$ рад/с, которая равна первой собственной частоте колебаний механической системы $k_1 = 100$ рад/с (кривая 2 на Рис. 3). При изменении массы маятника в диапазоне: $0,0053 \leq m < 0,0204$ (кг), маятник через 8 секунд начинает вращаться с угловой скоростью $\dot{\varphi} = 200$ рад/с, которая равна второй собственной частоте колебаний механической системы $k_2 = 200$ рад/с (кривая 3 на Рис. 3). При массе маятника $m < 0,0053$ кг он разгоняется до угловой скорости $\dot{\varphi} = 300$ рад/с, то есть до скорости вращения ротора $\omega = 300$ рад/с и вращается вместе с ротором (кривая 4 на Рис. 3). На этом же рисунке показан закон разгона ротора (прямая 1).

Заключение. Таким образом, в результате численного эксперимента при моделировании движения маятника на вращающемся валу ротора двигателя, закрепленного в корпусе на упругих опорах, установлено, что при одной и той же угловой скорости вращения ротора угловая скорость вращения маятника в зависимости от его массы может совпадать с одной из собственных частот колебаний механической системы. Тем самым, наше исследование подтвердило результаты натурального эксперимента в работах [17], [18], где это явление названо эффектом “застревания” маятника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. / И. Ньютон. – М: ЛЕНАНД, 2017. – 707 с.
2. Гюйгенс Х. Три мемуара по механике. / Х. Гюйгенс. – М.: АН СССР, 1951. – 578 с.
3. Капица П.А. Динамическая устойчивость маятника при колеблющейся точке подвеса. / П.А. Капица // ЖЭТФ, – 1951. – Т.21, Вып. 5. – С. 588-597.
4. Рагульскис К.М. Механизмы на вибрирующем основании. / К.М. Рагульскис. – Каунас: Институт энергетики и электротехники. АН Лит. ССР, 1963. – 232 с.
5. Валеев К.Г., Доля В.В. О динамической стабилизации маятника. / К.Г. Валеев, В.В. Доля // Прикладная механика. – 1974. – Т. 10, №2. – С. 88-99.
6. Челомей В.Н. Избранные труды. / В.Н. Челомей. – М.: Машиностроение, 1989. – 336 с.
7. Стрижак Т.Г. Методы исследования динамических систем типа “маятник”. / Т.Г. Стрижак. – Алма-Ата: Наука, 1991. – 253 с.
8. Бардин Б.С., Маркеев А.П. Об устойчивости равновесия маятника при вертикальных колебаниях точки подвеса. / Б.С. Бардин, А.П. Маркеев // Прикладная математика и механика. – 1995. Т. 9, Вып. 6. – С. 922-929.

9. Морозов А.Д. К задаче о маятнике с вибрирующей точкой подвеса. / А.Д. Морозов // Прикладная математика и механика. – 1995. Т. 59, Вып. 4. – С. 590-598.
10. Сейранян А.А., Сейранян А.М. Об устойчивости перевернутого маятника с вибрирующей точкой подвеса. / А.А. Сейранян, А.М. Сейранян // Прикладная математика и механика. – 2006. Вып. 70, №5. – С. 835-843.
11. Малкин И.А. Некоторые задачи теории нелинейных колебаний. / И.А. Малкин. – М.: Гостехиздат, 1951. – 401 с.
12. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. / Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский. – М.: Наука, 1974. – 501 с.
13. Моисеев Н.Н. Асимптотические методы нелинейной механики. / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1969. – 380 с.
14. Волосов В.М., Моргунов Б.И. Метод осреднения в теории нелинейных систем. / В.М. Волосов, Б.И. Моргунов. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1971. – 509 с.
15. Гребенников Е.А. Метод усреднения в прикладных задачах. / Е.А. Гребенников. – М.: Наука, 1986. – 255 с.
16. Блехман И.И. Вибрационная механика. / И.И. Блехман. – М.: Физматлит, 1994. – 400 с.
17. Артюнин А.И., Хоменко А.П., Елисеев С.В., Ермошенко Ю.В. Обобщенная модель вибрационной нелинейной механики и эффект “застревания” маятника на резонансных частотах механической системы. / А.И. Артюнин, А.П. Хоменко, С.В. Елисеев, Ю.В. Ермошенко // Научный журнал. Машиностроение и инженерное образование. – М.: – 2015. №1. – С. 61-67.
18. Артюнин А.И., Ермошенко Ю.В., Попов С.И. Экспериментальные исследования эффекта “застревания” маятника на резонансных частотах механической системы. / А.И. Артюнин, Ю.В. Ермошенко, С.И. Попов // Научный журнал. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск. – 2015. – №2. – С. 20-25.

МОДЕЛЬ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ИСТОРИЧЕСКОГО ОПЫТА В СОВРЕМЕННУЮ ОБРАЗОВАТЕЛЬНУЮ СРЕДУ

Тимохина Т. В., Максимова Е. Г.
 (г. Орехово-Зуево, ГОУ ВО МО ГТТУ)
 E-mail: timohina.tv@mail.ru ; lizaweta14@mail.ru

MODEL INTERPRETATION OF HISTORICAL EXPERIENCE IN MODERN EDUCATIONAL ENVIRONMENT

Timokhina T. V., Maksimova E. G
 (Orekhovo-Zuyev, University for humanities and technologies)

Abstract: the article deals with the aspects of reflection of historical and pedagogical experience in modern educational conditions. The model allowing the teacher of any region of Russia to show creativity, to address to history, to analyze experience, to understand desirable results, in total with modern requirements to develop a technique and forms of interaction with students is developed. The analysis of the model implementation results in a number of projects on the basis of the state University of Humanities and Technology of Orekhovo-Zuyevo is also presented.

Key words: education, historical and pedagogical heritage, model, modern teacher, educational tendencies, competences, pedagogical classes.

Введение. Актуальной проблемой человечества на рубеже тысячелетий является развитие отраслей педагогической науки и практики. Получать информацию сегодня возможно в огромных количествах и различными удобными способами: от обучения в образовательных организациях до освоения дистанционных программ, курсов, участия в вебинарах посредством «всемирной паутины». Для анализа и решения современных проблем, определения перспектив в сфере образования, важно действовать с уважением и учетом истории