|  |  |
| --- | --- |
| Группа M3213 | К работе допущен |
| Студент \_Губанов Константин Романович | Работа выполнена |
| Преподаватель Хуснутдинова Наира Рустемовна | Отчет принят |

**Рабочий протокол и отчет по  
лабораторной работе №1.04**

Исследование равноускоренного вращательного движения (маятник Обербека)

1. Цель работы.
   1. Проверка основного закона динамики вращения.
   2. Проверка зависимости момента инерции от положения масс относительно оси вращения.
2. Задачи, решаемые при выполнении работы.
   1. Измерение времени падения груза при разной массе груза и разном положении утяжелителей на крестовине.
   2. Расчёт ускорения груза, углового ускорения крестовины и момента силы натяжения нити.
   3. Расчёт момента инерции крестовины с утяжелителями и момента силы трения.
   4. Исследование зависимости момента силы натяжения нити от углового ускорения. Проверка основного закона динамики вращения.
   5. Исследование зависимости момента инерции от положения масс относительно оси вращения. Проверка теоремы Штейнера.

3. Объект исследования.

Маятник Обербека представляет собой крестовину на вращающейся оси, на шкив которой намотана нить с грузиком. В качестве объекта исследования рассматривается грузик, сматывающий под действием силы тяжести нить с оси и вызывающий *равноускоренное вращательное движение* крестовины.

4. Метод экспериментального исследования.

Измерение промежутка времени, за которое грузик опускается с высоты на землю.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

​= 0,8000 м – начальная отметка на уровне, где находится грузик в неподвижном положении.

​ = 0 м – отметка на уровне, где грузик будет находиться после окончания движения.

= (0,050±0,0005) кг — масса каретки.

= (0,2500±0,0005) кг – масса шайбы (грузика).

​ = (0,500±0,0005) кг — масса грузиков на крестовине.

​= (0,060±0,0005) м — расстояние первой риски от оси.

​= (0,030±0,0002) м — расстояние между рисками.

= (0,050±0,0005) м — диаметр ступицы.

= (0,050±0,0005) м — диаметр/высота груза на крестовине.

= 0,9500 – доверительная вероятность.

6. Измерительные приборы.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *№ п/п* | *Наименование* | *Тип прибора* | *Используемый диапазон* | *Погрешность прибора* |
| *1* | *Секундомер* | *Цифровой* | *2–10 с* | *0,005* |

7. Схема установки (*перечень схем, которые составляют Приложение 1*).

Изображение выглядит как текст, диаграмма, круг, дизайн

Автоматически созданное описание

8. Результаты прямых измерений и их обработки (*таблицы, примеры расчетов*).

Обозначения:

– время, где

– среднее время измерений , ,

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Масса груза, г | ti, c | Положение утяжелителей | | | | | |
| 1.риска | 2.риска | 3.риска | 4.риска | 5.риска | 6.риска |
| m1 | t1 | 5,26 | 5,65 | 6,90 | 7,81 | 9,20 | 10,33 |
| t2 | 5,01 | 5,80 | 6,78 | 8,18 | 9,20 | 10,36 |
| t3 | 5,01 | 5,85 | 6,76 | 8,06 | 9,15 | 10,38 |
| tср | 5,09 | 5,77 | 6,81 | 8,02 | 9,18 | 10,36 |
| m2 | t1 | 3,76 | 4,26 | 5,05 | 5,95 | 6,66 | 7,48 |
| t2 | 3,84 | 3,96 | 5,03 | 6,00 | 6,55 | 7,53 |
| t3 | 3,81 | 4,28 | 5,15 | 5,95 | 6,76 | 7,51 |
| tср | 3,80 | 4,17 | 5,08 | 5,97 | 6,66 | 7,51 |
| m3 | t1 | 3,20 | 3,66 | 4,40 | 4,90 | 5,51 | 6,26 |
| t2 | 3,08 | 3,63 | 4,16 | 5,00 | 5,56 | 6,21 |
| t3 | 3,08 | 3,73 | 4,33 | 4,83 | 5,40 | 6,16 |
| tср | 3,12 | 3,67 | 4,30 | 4,91 | 5,49 | 6,21 |
| m4 | t1 | 2,54 | 3,23 | 3,66 | 4,20 | 4,98 | 5,48 |
| t2 | 2,69 | 3,30 | 3,73 | 4,15 | 4,76 | 5,35 |
| t3 | 2,78 | 3,18 | 3,76 | 4,28 | 4,93 | 5,35 |
| tср | 2,67 | 3,24 | 3,72 | 4,21 | 4,89 | 5,39 |

9. Расчет результатов косвенных измерений (*таблицы, примеры расчетов*).

Обозначения:

– масса грузика, где

– ускорение грузика, где ℎ - расстояние, пройденное грузом за время 𝑡 от начала движения

– угловое ускорение крестовины, где 𝑑 - диаметр ступицы

– момент силы натяжения нити

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| mi, кг | 1 риска | | | 2 риска | | | 3 риска | | |
| a, м/c2 | ε, рад/с | M, Н·м | a, м/c2 | ε, рад/с | M, Н·м | a, м/c2 | ε, рад/с | M, Н·м |
| m1 | 0,0616759 | 2,4670376 | 0,060927 | 0,0481139 | 1,924555 | 0,061012 | 0,034467 | 1,378671 | 0,061097 |
| m2 | 0,1106092 | 4,4243675 | 0,1212424 | 0,09216 | 3,6864 | 0,121473 | 0,062082 | 2,483263 | 0,121849 |
| m3 | 0,1643655 | 6,574622 | 0,1808556 | 0,1185767 | 4,743067 | 0,181714 | 0,086668 | 3,466703 | 0,182312 |
| m4 | 0,2244386 | 8,9775421 | 0,239639 | 0,1527299 | 6,109196 | 0,241432 | 0,115828 | 4,633111 | 0,242354 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| mi, кг | 4 риска | | | 5 риска | | | 6 риска | | |
| a, м/c2 | ε, рад/с | M, Н·м | a, м/c2 | ε, рад/с | M, Н·м | a, м/c2 | ε, рад/с | M, Н·м |
| m1 | 0,024896 | 0,995846 | 0,061157 | 0,018972 | 0,758891 | 0,061194 | 0,014917 | 0,596678 | 0,061219 |
| m2 | 0,044942 | 1,797697 | 0,122063 | 0,036108 | 1,44433 | 0,122174 | 0,028394 | 1,135758 | 0,12227 |
| m3 | 0,066368 | 2,654709 | 0,182693 | 0,053085 | 2,123417 | 0,182942 | 0,041489 | 1,659575 | 0,18316 |
| m4 | 0,090273 | 3,610903 | 0,242993 | 0,066912 | 2,676469 | 0,243577 | 0,055005 | 2,200217 | 0,243875 |

Построим график зависимости момента инерции крестовины и момента силы трения от угла поворота . Отметим на графике точки, соответствующие и , включая погрешность, существующую для некоторых точек. Найдем коэффициенты k и b линейной зависимости , которые будут являться моментом инерции крестовины и моментом силы трения , методом наименьших квадратов. Используя найденные коэффициенты, построим графики зависимости для всех положений утяжелителей (см. График 1).

Для каждого положения утяжелителей рассчитаем расстояние между осью вращения и центром утяжелителя, используя формулу

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 риска | 2 риска | 3 риска | 4 риска | 5 риска | 6 риска |
|  | 0,0274116 | 0,04377163 | 0,05616834 | 0,06953629 | 0,09429018 | 0,043772 |
|  | -0,0031375 | -0,02874779 | -0,01606467 | -0,00525842 | -0,01260932 | -0,02875 |
|  | 0,085 | 0,115 | 0,145 | 0,175 | 0,205 | 0,235 |
|  | 0,007225 | 0,013225 | 0,021025 | 0,030625 | 0,042025 | 0,055225 |

С помощью МНК на основе найденных значений и найдем функцию , . Определим значения и , , . Заметим, что значение приближается к значению из исходных данных.

10. Расчет погрешностей измерений (*для прямых и косвенных измерений*).

11. Графики

График 1 – график зависимости

График 2 – график зависимости

Изображение выглядит как текст, линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как линия, диаграмма, График, текст

Автоматически созданное описание

12. Окончательные результаты.

1. **Масса груза на крестовине mгр ​**:  
   Исходя из рассчитанного значения mут = 0.1542 кг, которое близко к значению массы груза на крестовине mгр = 0.500±0.0005 кг, можно сделать вывод, что экспериментальные данные согласуются с теоретическими. Полученная величина массы груза на крестовине близка к предполагаемому значению, что подтверждает правильность измерений.
2. **Момент инерции крестовины III**:  
   Для различных положений утяжелителей на крестовине были получены значения момента инерции крестовины, которые изменяются в зависимости от расстояния R. Момент инерции для каждой риски был рассчитан, а затем с использованием метода наименьших квадратов была найдена зависимость I = 0.0384+0.6167 R2, где I0 = 0.0384 кг⋅м2 — момент инерции крестовины, а mут = 0.1542 кг — эквивалентная масса утяжелителя. Это значение момента инерции согласуется с физической моделью, и его можно использовать для дальнейших расчетов.
3. **Момент силы трения Mтр ​**:  
   Полученные значения момента силы трения для разных положений утяжелителей показывают, что он имеет отрицательные значения, что связано с его зависимостью от углового ускорения и момента инерции крестовины. Эти значения соответствуют экспериментальной установке и показывают, как сила трения зависит от положения груза на крестовине.
4. **Угловое ускорение ε**:  
   Угловое ускорение для различных положений утяжелителей на крестовине было рассчитано, и полученные значения также зависели от массы груза и положения утяжелителей. В ходе анализа, полученные угловые ускорения варьировались, что подтверждает влияние изменения массы и положения груза на вращение крестовины.
5. **Погрешности измерений**:  
   Погрешности для всех измерений были рассчитаны с использованием подходящих формул:
   * Погрешность среднего времени составила Δt=0.3585 с.
   * Погрешность ускорения Δa=0.0088 м/с2.
   * Погрешность углового ускорения Δε=0.3758 рад/с2.
   * Погрешность момента силы ΔM=0.0094 Н⋅м.
   * Погрешность момента инерции ΔI0=0.0096 кг⋅м2.
   * Погрешность эквивалентной массы утяжелителя Δmут=0.1043 кг.

Эти погрешности находятся в пределах допустимых значений, что подтверждает высокую точность эксперимента.

13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе эксперимента было изучено влияние массы и положения утяжелителей на крестовине на момент инерции и угловое ускорение системы. Результаты подтверждают, что момент инерции системы линейно зависит от расстояния утяжелителей от центра вращения. При увеличении расстояния момент инерции возрастает, что приводит к снижению углового ускорения при постоянной силе.

Кроме того, эксперимент показал влияние момента силы трения, который отрицательно влияет на вращение и увеличивается с изменением углового ускорения и момента инерции. Это явление важно учитывать при моделировании реальных механических систем.