|  |  |
| --- | --- |
| Группа R3141. Б 2.2 | К работе допущен |
| Студент Овчинников Павел Алексеевич | Работа выполнена |
| Преподаватель К.К. Боярский | Отчет принят |

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

**Исследование равноускоренного вращательного движения  
(маятник Обербека)**

**Цели работы**:

1. Проверка основного закона динамики вращения.
2. Проверка зависимости момента инерции от положения масс относительно оси вращения.

**Задачи**:

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.

**Объект исследования**: равноускоренное вращательное движение.

**Метод экспериментального исследования**: измерение времени равноускоренного падения груза.

**Исходные данные**:

кг — масса каретки

кг — масса шайбы

кг — масса грузов на крестовине

м — расстояние первой риски от оси

м — расстояние между рисками

м — диаметр ступицы

м — диаметр/высота груза на крестовине

м — высота подъёма каретки

**Измерительные приборы**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *№ п/п* | *Наименование* | *Тип прибора* | *Используемый диапазон* | *Погрешность прибора* |
| *1* | *ПКЦ-3 в режиме секундомера* | *Измерительный* | *0-60 с* | *0.1 с* |

Изображение выглядит как диаграмма

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как текст

Автоматически созданное описание**Схема установки**:

**Результаты прямых измерений и их обработки**

Измерения, проведённые во время выполнения лабораторной работы, запишем в первую таблицу, где приведём так же среднее время падения каретки для всех масс груза и при всех положениях утяжелителей на крестовине — строки с выделены серым цветом.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Масса груза, кг | Положение утяжелителей | | | | | |
| 1 риска | 2 риска | 3 риска | 4 риска | 5 риска | 6 риска |
| 0.2200 ± 0.0005 | 4.91 | 5.55 | 6.62 | 7.69 | 8.64 | 10.40 |
| 4.92 | 5.66 | 6.66 | 7.56 | 8.55 | 10.54 |
| 4.89 | 5.47 | 6.68 | 7.61 | 8.62 | 10.57 |
| 4.91 | 5.56 | 6.65 | 7.62 | 8.60 | 10.50 |
| 0.4400 ± 0.0010 | 3.49 | 4.16 | 4.74 | 5.25 | 6.28 | 7.1 |
| 3.52 | 4.06 | 4.77 | 5.58 | 6.45 | 7.21 |
| 3.5 | 4.11 | 4.75 | 5.42 | 6.32 | 7.15 |
| 3.50 | 4.11 | 4.75 | 5.42 | 6.35 | 7.15 |
| 0.6600 ± 0.0015 | 2.91 | 3.4 | 3.96 | 4.75 | 5.32 | 5.78 |
| 2.87 | 3.46 | 4.07 | 4.63 | 5.25 | 5.79 |
| 2.85 | 3.5 | 3.93 | 4.73 | 5.24 | 5.82 |
| 2.88 | 3.45 | 3.99 | 4.70 | 5.27 | 5.80 |
| 0.8800 ± 0.0020 | 2.56 | 2.89 | 3.43 | 4.16 | 4.51 | 5.05 |
| 2.64 | 2.99 | 3.49 | 3.9 | 4.52 | 5.03 |
| 2.61 | 3.1 | 3.45 | 4.01 | 4.48 | 5.09 |
| 2.60 | 2.99 | 3.46 | 4.02 | 4.50 | 5.06 |

Таблица 1

Теперь используем найденные значения , чтобы рассчитать ускорение груза по формуле , угловое ускорение по формуле и момент силы натяжения нити по формуле и запишем результаты во вторую таблицу.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Масса груза, кг | 1 риска | | | 2 риска | | | 3 риска | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.2200 ± 0.0005 | 0.0582 | 2.5283 | 0.0599 | 0.0453 | 1.9690 | 0.0600 | 0.0316 | 1.3751 | 0.0600 |
| 0.4400 ± 0.0010 | 0.1141 | 4.9595 | 0.1086 | 0.0829 | 3.6034 | 0.1090 | 0.0620 | 2.6940 | 0.1092 |
| 0.6600 ± 0.0015 | 0.1692 | 7.3557 | 0.1568 | 0.1174 | 5.1041 | 0.1576 | 0.0881 | 3.8298 | 0.1581 |
| 0.8800 ± 0.0020 | 0.2066 | 8.9813 | 0.2048 | 0.1562 | 6.7934 | 0.2058 | 0.1172 | 5.0943 | 0.2067 |
|  |  |  | 0.0220 |  |  | 0.0304 |  |  | 0.0397 |
|  |  |  | 0.0013 |  |  | 0.0003 |  |  | 0.0044 |
|  |  |  | 0.0770 |  |  | 0.1020 |  |  | 0.1270 |
| — | 4 риска | | | 5 риска | | | 6 риска | | |
| 0.2200 ± 0.0005 | 0.0241 | 1.0483 | 0.0601 | 0.0189 | 0.8224 | 0.0601 | 0.0127 | 0.5518 | 0.0602 |
| 0.4400 ± 0.0010 | 0.0477 | 2.0746 | 0.1093 | 0.0347 | 1.5096 | 0.1095 | 0.0274 | 1.1896 | 0.1096 |
| 0.6600 ± 0.0015 | 0.0633 | 2.7516 | 0.1585 | 0.0504 | 2.1917 | 0.1587 | 0.0417 | 1.8115 | 0.1588 |
| 0.8800 ± 0.0020 | 0.0865 | 3.7603 | 0.2073 | 0.0690 | 3.0015 | 0.2077 | 0.0548 | 2.3805 | 0.2080 |
|  |  |  | 0.0554 |  |  | 0.0680 |  |  | 0.0806 |
|  |  |  | 0.0005 |  |  | 0.0060 |  |  | 0.0146 |
|  |  |  | 0.1520 |  |  | 0.1770 |  |  | 0.2020 |

Таблица 2

Построим зависимость и отметим на графике точки, соответствующие и , вместе с погрешностями для тех точек, для которых они имеются. Заодно рассчитаем по методу наименьших квадратов коэффициенты k и b линейной зависимости , которые являются моментом инерции крестовины и моментом силы трения соответственно. С найденными коэффициентами построим графики зависимости для всех положений утяжелителей — построение отображено на Графике 1.

Также для каждого положения утяжелителей найдём расстояние между осью вращения и центром утяжелителя — обозначим его как ,

которое вычисляется по формуле . Эти данные уже занесены во вторую таблицу выше.

**Расчет результатов косвенных измерений**

Объединим значения общей таблицей и на основе этой таблицы обозначим точки зависимости .

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 риска | 2 риска | 3 риска | 4 риска | 5 риска | 6 риска |
|  | 0.0220 | 0.0304 | 0.0397 | 0.0554 | 0.0680 | 0.0806 |
|  | 0.0770 | 0.1020 | 0.1270 | 0.1520 | 0.1770 | 0.2020 |
|  | 0.0059 | 0.0104 | 0.0161 | 0.0231 | 0.0313 | 0.0408 |

Таблица 3

Теперь мы можем использовать точки зависимости для того, чтобы определить коэффициенты линейной зависимости по методу наименьших квадратов.

Эти коэффициенты по теореме Штейнера можно сопоставить с формулой:

Так мы сможем определить и и по ним построить график линейной зависимости.

Таким образом и , и последнее значение приближается к из исходных данных. Точки и прямая по МНК отображены на Графике 2.

**Расчет погрешностей измерений**:

Для первого рассчитаем погрешность , где, — коэффициент Стьюдента, , а — среднеквадратичное отклонение от среднего значения для первых трёх измерений. Таким образом .

Используя этот же метод, найдём , и . Тогда , ,

и доверительные интервалы для значений, при помощи которых вычислены погрешности, будут выглядеть так:

Погрешности и вычисляются на основе шести замеров для каждого положения грузов на крестовине так же, как и для погрешностей выше.

Тогда , а

Изображение выглядит как диаграмма

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как диаграмма

Автоматически созданное описание**Графики**

График 1, зависимости М от График 2, зависимости от

**Выводы и анализ результатов работы**:

В ходе выполнения работы мы исследовали ускорение движения шайб с кареткой в зависимости от общей массы каретки и в зависимости от расстояния грузов, расположенных на крестовине, до центра крестовины. Выполнив замеры и построив графики, мы можем сделать вывод, что момент инерции прямо и линейно зависим от расстояния грузов и их массы. Кроме того, момент силы натяжения нити, а следовательно, и общая масса каретки, так же играет немаловажную роль в угловой скорости вращения крестовины.